ICS 27.140
P 55

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 642—2013

水利水电地下工程施工组织设计规范

Specifications for construction planning for underground water resources and hydropower engineering

2013-09-17 发布　　2013-12-17 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
（水利水电地下工程施工组织设计规范）

2013年第55号

中华人民共和国水利部批准《水利水电地下工程施工组织设计规范》（SL 642—2013）为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电地下工程施工组织设计规范	SL 642—2013		2013.9.17	2013.12.17

水利部

2013年9月17日

前　言

根据水利部水利行业标准制修订计划，按照《水利技术标准编写规定》（SL 1—2002）的要求，编制本标准。

本标准共11章和2个附录，主要技术内容有：

——总则；

——开挖；

——不良地质条件部位的开挖与支护；

——临时支护；

——衬砌施工；

——灌浆施工；

——施工总布置；

——施工进度；

——通风与防尘；

——辅助工程；

——施工期安全监测。

本标准中的强制性条文有：7.2.3条1款、2款、5款，9.1.1条1款。以黑体字标示，必须严格执行。

本标准批准部门：**中华人民共和国水利部**

本标准主持机构：**水利部水利水电规划设计总院**

本标准解释单位：**水利部水利水电规划设计总院**

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：**中国水利水电第六工程局有限公司**

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：**崔金铁　史有富　马　军　史光宇**
徐怀聚　王　鹤　田作印　姜殿成
刘牧冲　徐岩彬　高　垠　叶　明
孔庆峰

本标准审查会议技术负责人：**夏仲平　　倪锦初**

本标准体例格式审查人：**陈登毅**

目　次

1　总则 …… 1
2　开挖 …… 2
2.1　一般规定 …… 2
2.2　开挖方案选择 …… 2
2.3　钻爆法开挖 …… 3
2.4　岩石掘进机开挖 …… 6
2.5　盾构掘进机开挖 …… 7
2.6　顶管施工 …… 8
2.7　出渣运输 …… 8
3　不良地质条件部位的开挖与支护 …… 10
3.1　一般规定 …… 10
3.2　开挖 …… 10
3.3　支护 …… 12
4　临时支护 …… 13
4.1　一般规定 …… 13
4.2　锚喷支护 …… 13
4.3　其他临时支护 …… 14
5　衬砌施工 …… 15
5.1　衬砌施工方案选择 …… 15
5.2　混凝土衬砌 …… 15
5.3　压力钢管衬砌 …… 17
5.4　管片衬砌 …… 19
5.5　混凝土运输 …… 20
6　灌浆施工 …… 22
6.1　一般规定 …… 22
6.2　灌浆设备 …… 22

6.3 灌浆施工 …… 23
7 施工总布置 …… 24
7.1 一般规定 …… 24
7.2 施工布置 …… 24
7.3 施工支洞布置 …… 25
8 施工进度 …… 28
8.1 一般规定 …… 28
8.2 施工进度控制 …… 28
9 通风与防尘 …… 30
9.1 卫生标准 …… 30
9.2 通风 …… 32
9.3 防尘、防辐射、防有害气体 …… 33
10 辅助工程 …… 34
10.1 供风 …… 34
10.2 供水与排水 …… 36
10.3 供电与照明 …… 38
11 施工期安全监测 …… 42
11.1 一般规定 …… 42
11.2 监测内容 …… 42
11.3 监测布置 …… 42
11.4 监测仪器及安装 …… 43
11.5 监测技术要求 …… 44
附录A 光面爆破与预裂爆破参数 …… 46
附录B 有关爆破监测方法的规定 …… 49
标准用词说明 …… 51
条文说明 …… 53

1 总　　则

1.0.1 为提高水利水电地下工程施工组织设计水平，保障地下洞室的施工安全、保证施工质量、减小施工对环境的不利影响、达到节能减排要求，在《水利水电工程施工组织设计规范》（SL 303）基础上，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于大、中型水利水电工程地下工程施工组织设计，小型水利水电工程的地下工程施工组织设计可参照执行。

1.0.3 地下工程施工组织设计应按照国家法律、法规和相关行业规范要求，开展环境保护、安全防护、防汛及排水措施等设计，结合国情，积极推广应用新技术、新工艺、新材料、新设备。

1.0.4 对处于工程施工关键线路上的长隧洞、大断面及特大断面洞室、洞室群的施工方案，必要时可采用施工仿真技术进行比选。

1.0.5 本标准的引用标准主要有以下标准：

《生活饮用水卫生标准》（GB 5749）

《水利水电工程地质勘察规范》（GB 50487）

《水工预应力锚固施工规范》（SL 46）

《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》（SL 62）

《水工预应力锚固设计规范》（SL 212）

《水利水电工程施工组织设计规范》（SL 303）

《水利水电工程锚喷支护技术规范》（SL 377）

《水利水电工程施工总布置设计规范》（SL 487）

《煤矿安全规程》（国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局）

1.0.6 水利水电地下工程施工组织设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行标准的规定。

2 开　挖

2.1 一 般 规 定

2.1.1 地下洞室的开挖方法及参数选择应以地下工程的围岩分类及产状构造特征和断面形状、尺寸为主要依据，围岩分类应遵守 GB 50487 的规定。

2.1.2 应根据洞口岩体稳定性分析，确定洞口开挖方法、支护措施和洞口边坡的加固方案。水下洞口开挖若采用岩塞爆破时，应进行专门设计。

2.1.3 洞室采用钻爆法开挖时，设计轮廓面的开挖，应采用光面爆破或预裂爆破技术。

2.1.4 隧洞进、出口洞段施工若受地形、结构型式或河流水位等因素的限制，可设置施工支洞或采取临时挡水措施进行主洞施工。

2.1.5 在围岩稳定情况下，开挖与衬砌宜采用顺序作业方式；采用平行作业方式时，应确保各工序的运输通道畅通。

2.1.6 寒冷、严寒地区的洞室开挖应做好防冻保温措施；缺氧地区应加强通风，必要时应采取补氧措施。

2.2 开挖方案选择

2.2.1 当隧洞单头工作面的长度不超过 2000m 时，宜采用钻爆法施工。

2.2.2 隧洞底坡度小于 6°时，应按平洞的施工方法施工；隧洞底坡度为 6°～75°时，宜按斜井施工方法施工；隧洞底坡度大于 75°时，应按竖井施工方法施工。

2.2.3 符合下列条件时，可选用岩石掘进机施工：

1 洞径为 3～12m 的圆形断面，洞长超过 3km，开挖施工支洞及竖井困难或不经济。

2 围岩类别为Ⅰ～Ⅲ类，岩体构造均匀，物理力学指标适中，岩溶不发育，断层破碎带少且窄。

3 岩石单轴抗压强度适合设备的性能要求。

4 地下涌水量较小。

5 隧洞全长没有不宜使用掘进机的弯角和坡度。

2.2.4 在坚硬、中等坚硬的较完整岩体中开挖隧洞时，宜选用开敞式掘进机开挖；在中等坚硬的完整性较差的岩体、软岩或局部土层中开挖隧洞时，宜研究选用护盾式掘进机开挖。

2.2.5 在砂层或土层中开挖隧洞时，宜选用盾构掘进机开挖。盾构掘进机的型式应根据工程地质和水文地质条件、工期、隧洞布置及衬砌型式等进行选择。

2.2.6 当地质条件允许时，地下管道可采用顶管法施工。

2.3 钻爆法开挖

2.3.1 洞口开挖应符合下列规定：

1 洞口开挖应安排在洞口边坡开挖、支护完成后进行。

2 进洞前应做好开挖及其影响范围内的安全防护工作，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，然后再进行洞口开挖，必要时可考虑洞口设置明洞方案。

3 洞口段开挖宜采用先导洞、后扩挖的施工方法，开挖之后，应及时进行锁口支护。

1）当岩体较完整，中、小断面洞室，围岩类别为Ⅰ～Ⅲ类时，可采用全断面开挖，浅孔弱爆破，开挖后进行洞口段支护。

2）对大断面以上洞室，洞口开挖宜采用分部开挖，开挖后应立即实施支护，并应根据围岩情况采取加固措施。

3）当围岩类别为Ⅳ类、Ⅴ类时，宜采用短进尺和分部开挖方式施工，开挖后应立即进行支护。

2.3.2 平洞开挖应按下列规定执行：

1 平洞开挖方法应根据围岩类别、施工条件、隧洞长度及

断面尺寸、支护方式、工期要求、施工机械化程度和施工技术水平等因素选定。

2 对洞径在10m以下的圆形隧洞，宜采用全断面开挖，底部预留石渣作为通道的方法；或采用先开挖上台阶，下台阶留作施工通道，待上台阶施工完成后再开挖下台阶的方法；其他断面型式的隧洞，洞径或洞高在10m以下的宜优先采用全断面开挖，洞径或洞高在10m及以上的宜采用分层开挖或先挖导洞，然后进行分层分部开挖。

3 洞室顶拱及非直边墙洞室的下部开挖应按布置水平孔选择钻孔设备，直边墙洞室的下部开挖可按布置垂直孔或水平孔选择钻孔设备。

4 应根据洞室的断面形状和尺寸、围岩类别、爆破参数等经计算或采用工程类比法确定循环进尺。

2.3.3 斜井开挖应按下列规定执行：

1 应综合分析地质条件、结构布置、断面尺寸、坡度、长度、交通条件等因素选择开挖方法及施工设备。

2 斜井倾角为6°～30°时，宜采用自上而下全断面开挖。

3 斜井倾角为30°～45°时，可采用自上而下全断面开挖或自下而上开挖。采用自下而上开挖时，应有扒渣和溜渣设施。

4 斜井倾角为45°～75°时，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 自上而下开挖时应优先采用全断面开挖，出渣宜选用有轨式的装渣、运渣设备。

6 自下而上开挖时，宜采用自下而上开挖导洞，再自上而下进行扩大开挖，导洞应满足溜渣要求。

7 有上平洞并安排自上而下开挖的斜井，其上弯段的转弯半径应符合运渣设备的要求。必要时，应扩大开挖上弯段。

2.3.4 竖井开挖应按下列规定执行：

1 应综合分析地质条件、结构布置、断面尺寸、深度、交通条件等因素选择开挖方法及施工设备。

2 应创造从井底出渣的条件，若不具备从竖井底部出渣的条件时，则应全断面自上而下开挖。

3 当竖井底部有出渣通道，且竖井断面较大时，可选用导井法开挖；扩挖宜自上而下进行，围岩为Ⅲ类、Ⅳ类时，应紧跟开挖面进行支护。

4 当竖井底部有出渣通道时，小断面竖井和导井可采用反井钻机法、爬罐法或吊罐法进行自下而上全断面开挖，对于地质条件较好和井深适合的竖井和导井，宜优先选用反井钻机法。

5 在土层中开挖竖井时，应自上而下开挖，边开挖边支护。

6 对露天竖井，在井口开挖前应先完成井口的地面明挖，锁固井口，并采取措施防止地表水流入和杂物坠入。

7 选择自上而下开挖或扩挖竖井时，井口施工平台尺寸应按所选择的施工方法进行布置后确定。

8 涌水和淋水地段，应有防水、排水措施。

9 竖井作业时，井口、井内应布置可靠的安全设施。

10 当竖井兼有地下洞室施工期通风排烟功能时，宜创造条件提早施工。

2.3.5 洞室群开挖应遵守下列规定：

1 应全面规划和统筹安排洞室群各洞室的施工程序，合理安排各洞室施工的衔接，并应提早形成自然通风条件。

2 应根据地质条件、洞室布置、施工通道、施工设备和工期要求，合理确定开挖分区和分层。

3 应尽可能地利用地下洞室的各种通道，开辟较多的施工工作面，并创造条件进行平行流水作业，以加快施工进度。

2.3.6 特大断面洞室开挖应按下列规定执行：

1 宜采用自上而下分层开挖的方法。

2 顶拱层开挖应根据围岩条件和断面大小确定开挖方式；当地质条件允许时，宜采取先开挖中导洞，再两侧扩大的开挖方法；若围岩稳定性差，则宜采用两侧导洞先掘进并进行初期支护，再进行中间预留岩柱跟进的开挖和支护方法。

3　中、下层开挖可采用沿两侧边墙预裂爆破、中间梯段爆破的方法，或是沿两侧边墙预留保护层，先进行中间梯段爆破，然后再进行保护层开挖的方法。

4　底部开挖应预留保护层，并沿轮廓线水平光面爆破。

2.3.7　特殊部位开挖应遵守下列规定：

1　应根据围岩类别、结构特点、断面尺寸等因素，分析岩体稳定性。

2　顶拱拱座、高压岔管、尾水岔管等受力条件复杂的部位，应合理安排开挖的分层分块，采取预留保护层和严格的控制爆破技术，减少对岩体的扰动和破坏。

3　岩壁（台）吊车梁开挖应符合下列规定：

1）应采用预留保护层法开挖，保护层应采用光面爆破开挖；应严格控制超挖，不宜欠挖。

2）岩壁（台）吊车梁混凝土浇筑前，应完成下层的预裂爆破或开挖，并应在下层开挖时采取爆破振动监测措施。

3）为了确保岩壁（台）准确成型，必要时应先进行固结注浆以加固围岩。

4）岩壁（台）吊车梁下底高程距下开挖层面的距离应满足爆破的安全要求和预裂孔钻孔机械所需的工作高度。

4　交叉洞室和相邻洞室的开挖，应合理安排各交叉和相邻洞室的锁口和加固支护次序；小断面洞室和大断面洞室交叉时应先开挖小断面洞室，并加强交叉部位的围岩支护。

5　必要时，应对有代表性的部位进行施工期安全监测设计。

2.4　岩石掘进机开挖

2.4.1　选用岩石掘进机开挖时，应做充分的技术和经济论证，并应能适应可能遇到的地层岩性和地质条件，应能保证施工安全的要求。

2.4.2　当采用岩石掘进机施工时，应进行工程地质、水文地质

条件的适应性评估，根据隧洞围岩状况确定适合的掘进机型式，并应考虑道路运输、施工场地布置、材料供应、供电、通风、出渣等外部施工条件及工程场址、环境保护、水土保持等要求。

2.4.3 岩石掘进机施工运输方式应根据隧洞长度、断面大小、工期要求、运输强度要求、环境影响等因素进行综合比选确定。

2.4.4 岩石掘进机施工应根据隧洞的地质条件，选择合理的掘进参数；应根据围岩条件选择合理的支护体系；对特殊地段及特殊地质条件的施工应有应急预案和详细的施工组织措施。

2.4.5 岩石掘进机宜在洞外进行组装和拆卸，当需要在洞内进行组装及拆卸时，应设置辅助洞室，以满足设备安装、拆卸的要求。

2.4.6 应根据隧洞的具体地质情况合理选择岩石掘进机工作模式，在掘进过程中，应加强巡视和检查。

2.4.7 岩石掘进机在到达贯通断面前，应制定详细的到达贯通方案。

2.5 盾构掘进机开挖

2.5.1 盾构掘进机的类型和技术性能应能满足工程地质和水文地质条件、线路条件、环境安全和隧洞结构设计要求。

2.5.2 盾构掘进机始发工作井和接收工作井内的设施应能满足设备组装、调试、始发及检修、解体或整体移位的要求。

2.5.3 应根据隧洞地质条件、线路平面与坡度、隧洞埋深及地表环境等选择合理的掘进参数。

2.5.4 对特殊地段及特殊地质条件的施工，应有应急预案和详细的施工组织措施，以确保施工安全。

2.5.5 应根据隧洞断面尺寸、长度、纵坡、掘进速度选择合理的施工运输方式、运输设备及其配套设施；运输能力应能满足盾构掘进机掘进与管片拼装要求。

2.5.6 当隧洞洞口段的土体不能满足盾构掘进机始发和接收要求时，应根据工程现场条件，合理选择降水、堵漏、注浆、旋喷

桩、搅拌桩或其他土体加固措施。

2.6 顶管施工

2.6.1 顶管施工方法的选择，应根据管道所处土层性质、管径、地下水位、附近地上与地下建筑物、构筑物、管线及其他设施等因素，经技术经济比较后确定。

2.6.2 应综合考虑工程地质和水文地质条件、工期、环境保护、安全等因素，合理选择顶管设备。

2.6.3 管道的顶进工艺应与地层条件相适应，并应有利于管道防护。每节管道长度应根据管径的大小、管材的情况分类确定。

2.6.4 出土运输设备的选择应根据土层性质、掘进机型、作业空间、出土量、运输距离及堆土条件等因素综合确定。

2.6.5 顶管施工进、出工作井应综合考虑工程地质和水文地质条件、埋设深度、顶进方法、周围环境、安全等因素，经技术经济比较后确定。当洞口土层不稳定时，应对土体采取加固处理。

2.7 出渣运输

2.7.1 出渣运输应按下列规定执行：

1 应按照确定的施工方案，选择出渣、运输方式及设备。

2 装渣机械、牵引机械应与运渣设备应配套；有条件时宜选用装渣能力和载运容量较大的设备。

3 车辆行驶速度、安全距离应能满足安全要求。

4 必要时，经比较后可选择洞外二次倒运出渣。

5 应做好施工道路的规划布置，并应采取措施确保已浇筑的隧洞底板混凝土结构不受损伤。

2.7.2 有轨运输应按下列规定执行：

1 较长的中、小断面隧洞出渣，可采用有轨运输方式；当采用机车牵引时，宜优先采用电瓶机车。

2 洞内有轨运输宜设双线轨道；如用单车道时，应设错车道。

3 洞外应根据需要，设调车、卸车和车辆检修等线路。

4 宜采用连续装渣设备。

5 轨道的坡度不宜大于2%，其最小转弯半径应不小于机车轴距的15倍。

2.7.3 无轨运输应按下列规定执行：

1 应根据隧洞长度、断面尺寸、开挖强度等因素合理选择无轨运输方式。

2 圆形隧洞全断面开挖时，其运输通道可采用垫渣的方式。

3 自卸汽车运渣时，自卸汽车的调头可选用回车盘或布置回（错）车洞，回（错）车洞的间距宜为150～300m。设置回（错）车洞增加的工程量应计入隧洞工程量中。

4 大断面和特大断面洞室宜优先选用配套的大型挖、装、运设备，以提高出渣效率。

2.7.4 斜井、竖井出渣运输应按下列规定执行：

1 应根据斜井、竖井的布置选择适宜的出渣方式，应优先选择溜渣到井底，从井底出渣的方式；在条件允许时，可研究采用带式输送机出渣方式。

2 斜井采用卷扬机有轨运输时，应按下列规定执行：

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连处应设倒坡，并应在适当位置设置能够控制溜车的挡车装置。

3）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。

4）斜井中每间隔100m左右宜设置避车洞。

3 斜井采用溜槽溜渣时，应根据斜井倾角确定溜槽形式，并应采取严格的安全保护措施。

4 竖井采用吊罐出渣时，井架、起吊设备应专门设计。

5 井上、井下运输通道均应采取专项安全措施。

3 不良地质条件部位的开挖与支护

3.1 一 般 规 定

3.1.1 符合下列地质条件之一的应按不良地质条件开挖支护：

1 遇较大断层、缓倾角节理密集带、结构面构成的不稳定块体等地质条件。

2 通过岩溶发育区或地下暗河的地质条件。

3 通过高应力区出现岩爆的地质条件。

4 通过夹泥层、流沙层、滑坡堆积层、高膨胀性、松散破碎岩体等岩层的地质条件。

5 位于地下水丰富或地表水强补给区，出现较大涌水的地质条件。

6 通过深厚淤泥层、湿陷性黄土、膨胀土、泥炭层等地质条件。

3.1.2 穿过不良地质条件部位时，应结合洞室结构型式，分析地质资料，提出专项施工方案和工期安排。

3.1.3 应按“短进尺、弱爆破、强支护、勤监测”的原则开挖。

3.1.4 遇到不良地质条件时，应加强支护。

3.2 开 挖

3.2.1 在岩溶地段开挖洞室时，应查明岩溶的类型、规模、形态、充填情况、分布范围及地下水活动规律，确定与洞室位置的关系后，宜采取下列开挖方法和处理措施：

1 当岩溶洞穴规模较大，且没有充填时，洞室穿越洞穴，可采用填渣、架桥等方式通过。

2 当岩溶洞穴中有松散、破碎充填物时，洞室穿越洞穴时，其底部可采用桩基、注浆加固等措施。

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、截等措施，必要时可采用弱透水材料回填、水泥灌浆等截堵措施。

3.2.2 高地应力区的开挖，应采用下列措施：

1 采用光面爆破，使开挖成形好，改善洞室周边的应力分布状况。

2 采用超前导洞，分部开挖，减缓应力释放量值，避免应力突然释放。

3 喷雾洒水，增设防护网。

4 钻孔高压注水。

5 临时支护措施。

3.2.3 对土层、流沙层等不良地质条件部位，应提出专项支护方案。

3.2.4 在地下水丰富地段，应探明地下水活动规律、涌水量大小、地下水位及补给源，采用排、堵、截、引、灌浆阻水等技术方案：

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，以减少开挖面渗水量。

2 截断补水源，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。

3.2.5 采用预灌浆阻水方案时，应根据地质及水文地质条件，提出预灌浆的范围、孔位布置、灌浆材料、灌浆压力及工艺。在预灌浆前应进行灌浆试验，确定相关参数。

3.2.6 对不良地质条件部位的开挖应提出塌方处理预案。塌方处理预案应包括下列内容：

1 塌方体端部未破坏的支护结构或岩体加固措施。

2 塌落物未将洞室堵塞或塌落物已将洞室堵塞时，隧洞顶部的加固措施和清除塌落物措施。

3 预计可能有冒顶塌方发生时，应提出地表塌方区域周围岩体的加固措施及排水措施。

4 地下水活动的地段，应提出治水措施。

3.2.7 高膨胀性岩体开挖应预留足够的变形量。

3.3 支 护

3.3.1 影响地下洞室围岩稳定的不利结构面可采用锚杆（索）进行加固；锚杆（索）的设计与施工，应遵守 SL 212、SL 46 和 SL 377 的规定。

3.3.2 对岩溶部位，宜采用封堵、隔离、清除等方法处理溶洞中的空洞、危石、坍塌及风化充填物等。

3.3.3 在高地应力区，可采用加密布置的短锚杆、预应力锚杆、喷射纤维混凝土等支护措施。

3.3.4 在土层、流沙层等不良地质条件部位，宜采用超前管棚、超前灌浆等加固措施，并应及时进行衬砌。

3.3.5 在地下水丰富地段采用排、堵、截、引等措施后，应及时进行支护，并可采用早强型混凝土。

3.3.6 在膨胀性岩体部位，可采用喷锚支护及时封闭围岩、并适时做好永久性衬砌。若岩体变形较大，可采用伸缩性支护结构。

3.3.7 当存在较大断层、缓倾角节理、密集破碎带及结构面构成的不稳定块体时，可考虑采用超前支护措施，开挖后采取喷混凝土、挂网和锚杆（索）等支护措施，必要时可采取钢支撑相结合方式。

3.3.8 采用钢支撑作为支护时，钢支撑应在设计衬砌断面之外，在特殊情况下经复核后可允许钢支撑侵占部分永久衬砌断面。

4 临时支护

4.1 一般规定

4.1.1 对于需要采取临时支护的地段，应根据地质条件、洞室断面型式、断面尺寸、开挖方法、围岩自稳时间等因素，作出支护设计。

4.1.2 临时支护的作业时间应安排在循环开挖作业时间内。

4.1.3 临时支护结构可作为永久衬砌的一部分，并应满足永久衬砌的要求。

4.2 锚喷支护

4.2.1 锚喷支护设计可采用工程类比法。应根据围岩地质条件、洞室断面尺寸、施工方法、使用年限及洞室用途等确定支护类型和参数。锚喷支护设计应包括下列内容：

1 选择支护类型和确定支护范围。

2 锚杆长度、直径、间排距。

3 钢筋网直径、间距以及喷射混凝土强度和厚度等。

4 临时支护和永久支护时间和程序。

4.2.2 锚杆的型式宜选用水泥砂浆锚杆（含预应力砂浆锚杆），必要时可选用涨壳式锚杆或树脂锚杆；在特殊地质洞段可选用水胀式、缝管式和管式锚杆。

4.2.3 临时支护用的水泥砂浆锚杆长度最长不宜超过9.0m，且宜小于洞室的开挖高度或宽度；锚杆间距不宜大于锚杆长度的1/2，Ⅳ类、Ⅴ类围岩中的锚杆间距宜为0.5～1.0m，并不应大于1.25m。

4.2.4 喷混凝土应采用湿喷法或半湿喷法，其拌和设备应选用强制式搅拌机，喷混凝土的混合料可掺入具有速凝、减水、防水等性能的外加剂。大型洞室可选用喷混凝土机械手进行喷混凝土

作业。

4.3 其他临时支护

4.3.1 采用拱架支撑应遵守下列规定：

1 拱架支撑宜选用钢拱架支撑，并宜优先选用格栅钢架，钢架应分节段制作，节段与节段之间可通过钢板用螺栓连接和焊接，钢架与围岩之间的缝隙应采用喷混凝土填筑密实。

2 在围岩地质条件较差地段或地面沉降有严格限制时，应增设拱架支撑；在设置超前支护的地段，应设置拱架作为超前支护的尾端支点。

3 拱架支撑结构应根据开挖断面、开挖方式和围岩地质条件等因素进行设计；拱架支撑间距应根据围岩地质条件并结合开挖循环进尺确定。

4 每榀支撑应保持在同一平面上，并与洞轴线正交；拱架支撑的柱脚应置于完整的岩面上；在斜井中布置拱架支撑时，应开挖出柱脚平台，底层软弱时应加设垫墩。

5 斜井拱架支撑应加设纵梁或斜梁，防止格栅支架下滑；当斜井倾角不小于30°时，拱架支撑连接宜选用夹板；当倾角不小于45°时，拱架支撑应采用框架结构；当斜井倾角大于底板岩层稳定坡角时，底板应加设底梁；柱脚与基岩应结合稳固。

4.3.2 在Ⅳ类、Ⅴ类围岩中，拱架支撑宜与锚喷支护联合使用。

4.3.3 管棚支护应根据地质条件、洞室断面等进行专门设计。

5 衬砌施工

5.1 衬砌施工方案选择

5.1.1 选用的衬砌施工方案应能保证工程质量与施工安全，并应有利于环境保护和劳动者身体健康。

5.1.2 选用的衬砌施工方案应能适应工程所在地的施工条件，满足施工总进度的要求，并应有利于减少施工临时工程量及施工附加量。

5.2 混凝土衬砌

5.2.1 混凝土衬砌方法应以断面形状、尺寸、工期要求为主要依据；混凝土衬砌程序、衬砌分区应与供料线路、浇筑设备布置和其他交叉工程施工相协调，通过技术经济比较，确定模板类型、混凝土运输方式、入仓方式及浇筑设备。

5.2.2 模板选用应与混凝土结构和构件的特征、条件和浇筑方法相适应，并应按下列规定执行：

1 模板类型应适合结构物外型轮廓，有利于机械化操作和提高周转次数。

2 模板应具有足够的强度、刚度和稳定性，应能可靠地承受施工荷载。

3 应选择便于制作、安装、拆卸和提升的标准化、系列化、轻型化模板。

4 宜优先采用钢模板，在钢模板无法采用或不经济时，方可采用木模板。

5 隧洞衬砌应优先选用模板台车。

6 规则断面竖井、斜井宜优先采用滑模、拉模。

7 短隧洞、渐变段、喇叭口等部位宜用拼装模板。

8 各种洞室直墙宜用定型组装式钢模。

5.2.3 钢模台车选配应按下列规定执行：

1 每一浇筑工作面应配置一台台车，所配钢模组数应能满足混凝土连续浇筑要求。

2 钢模台车应能解体工作，由钢模承受全部施工荷载，台车只起架设、拆卸及移动钢模的作用。

3 若采用钢模台车联合作业，台车下部应留有运输通道。

4 圆形断面的长隧洞全断面衬砌，可选用针梁式钢模台车或油压式伸缩钢模台车。

5 拆模时间应根据混凝土性能和洞室跨度、结构型式等因素确定。

5.2.4 若采用拉模、滑模施工，拉模速度和滑模滑升速度应根据衬砌断面型式和尺寸、施工进度要求、浇筑能力、混凝土物理力学指标等因素综合确定。

5.2.5 平洞混凝土衬砌应按下列规定执行：

1 平洞混凝土衬砌应在保证施工安全和工程质量前提下确定边墙、顶拱、底板衬砌顺序，边、顶拱混凝土宜同时浇筑，有条件时可全断面一次衬砌，大断面洞室宜先衬顶拱；分段内边墙或顶拱混凝土衬砌应对称均匀上升。

2 圆形断面的长隧洞衬砌宜采用全断面钢模台车全断面一次衬砌。

3 衬砌分段长度应在分析围岩特性、浇筑能力、模板和台车型式及建筑物结构特征等因素后确定；洞室交叉口衬砌分段应确保安全。

5.2.6 斜井及竖井混凝土衬砌应按下列规定执行：

1 斜井及竖井混凝土衬砌宜全断面分段进行，分段应在分析围岩特性、结构型式及浇筑方式等因素后确定，每段内混凝土浇筑应对称均匀上升。

2 当围岩稳定条件较差时，衬砌段长度应与开挖段长度一致，使两者能交替进行。

3 建筑物结构外形变化处宜作为衬砌分段界线。

5.2.7 混凝土衬砌宜采用机械化连续施工，以缩短混凝土浇筑作业循环时间。宜设置钢筋台车以加快扎筋速度，入仓、平仓、振捣等设备应与仓位条件相适应，并保证仓内混凝土浇筑的连续性。

5.2.8 低温季节混凝土衬砌应按下列规定执行：

1 地下工程混凝土衬砌施工受气温影响相对较小，根据总进度要求和施工条件，经过技术经济论证后，可适当安排低温季节混凝土衬砌施工，但应注意采取保温防冻措施。

2 应根据混凝土温控要求统筹考虑混凝土的拌和、运输、入仓、浇筑各环节措施，有条件时应优先考虑低温季节施工期间将混凝土生产系统安排在已有地下洞室内进行。

3 气温标准、保温防冻等措施应遵守 SL 303 的规定。

5.3 压力钢管衬砌

5.3.1 压力钢管宜在工地现场加工，根据钢管尺寸和运输条件，可分瓣单节或多节拼装加工。

5.3.2 钢管水平运输宜采用载重汽车或平板拖车，当隧洞断面尺寸不能满足汽车运输条件时，洞内运输宜采用卷扬机牵引至安装地点。

5.3.3 下平洞压力钢管运输可选用下列通道方式：

1 地面厂房工程下平洞压力钢管运输可选用下列通道方式：

1）可由厂房基坑经压力管道出口运输至压力管道下平洞段。

2）当下平洞段上游的斜井或竖井设有钢管时，可由斜井或竖井运输至压力管道下平洞段。

3）可由下平洞施工支洞运输下平洞与施工支洞交叉部位上游的全部或部分压力钢管，交叉部位下游的压力钢管可由厂房基坑经压力管道出口运输。

2 地下厂房工程引水系统下平洞压力钢管运输可选用下列通道方式：

1）可经主厂房交通洞内布置的施工支洞运至压力管道下平洞段。

2）压力钢管运至主厂房安装间后，可用厂房内桥机或其他起吊设备吊转后运至压力管道下平洞段。

3）当下平洞段上游的斜井或竖井设有钢管时，可由斜井或竖井运输至压力管道下平洞段。

4）当仅在压力管道的下平洞段设有钢管时，可对一条压力管道中影响钢管运输的部位局部扩大，将此条压力管道作为每条下平洞钢管运输的通道，钢管由上游经此条压力管道运输至下平洞，其他各条下平洞的钢管均可由此处再经压力管道出口转运。

5.3.4 下平洞段的压力钢管安装顺序应为由运输通道末端向近端逐节进行；斜井或竖井的钢管应经斜井或竖井的进口运输，安装顺序应自下而上逐节安装；有岔管时，应先安装岔管。

5.3.5 洞内钢管的就位宜采用有轨运输，钢管的移位宜采用卷扬机牵引。

5.3.6 压力钢管安装应按下列规定执行：

1 应减少交叉作业，均衡生产。

2 钢管安装的管节长度应结合安装进度、运输条件及起吊牵引能力等综合确定；在吊装运输条件允许的情况下，钢管宜采用大节安装，安装和混凝土浇筑宜分段交叉进行，每段长度应保证混凝土浇筑质量。

3 安装方案应根据压力管道型式和施工条件、施工工期确定。

4 应结合构件的外形尺寸、重心位置及单件重量、安装位置的孔洞和通道尺寸、运输方案等确定吊装、拖曳、就位方法和设备。

5 当钢管需进行双面焊接时，钢管外壁与洞室开挖面之间的施工最小间距：边顶拱部位不宜小于500mm；底拱部位不宜小于600mm。

5.3.7 平洞和斜井段在钢管安装前，宜先设置供钢管固定的支墩，并预埋固定钢管的型钢。

5.3.8 有上平洞的斜井或竖井的上弯段的开挖形状和尺寸确定，除与开挖方式有关外，当作为钢管运输通道时，还应满足钢管运输的工况要求。

5.3.9 分岔式压力管道下平洞段的开挖尺寸应满足岔管运输要求，岔管需要分瓣运输安装时应进行技术经济比较。

5.3.10 钢管安装可能产生变形时，应设钢管临时内支撑。

5.3.11 压力钢管外包混凝土衬砌应按下列规定执行：

1 衬砌施工应保证不对钢管造成损伤。

2 衬砌宜与安装分段交叉进行，并应考虑钢管安装、检测、混凝土浇筑、养护、灌浆等各工序的合理衔接。

3 衬砌分段内的混凝土浇筑应两侧对称均匀上升。

4 应符合 5.1 节、5.2 节和 5.5 节的规定。

5.4 管片衬砌

5.4.1 钢筋混凝土预制管片衬砌方案对掘进机的要求应符合下列规定：

1 掘进机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。

2 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。

5.4.2 管片结构应进行专门设计。

5.4.3 各类管片均应由工厂生产，管片生产能力应满足隧洞开挖和衬砌进度的要求。

5.4.4 管片运输方案应与掘进机出渣运输统筹考虑；管片运输宜采用有轨运输；管片运输应根据管片拼装顺序确定。

5.4.5 管片运至现场后可使用管片拼装机或拼装器进行拼装；大、中断面圆形隧洞管片衬砌宜采用环式拼装器进行拼装；内表面光滑的管片宜采用有真空吸盘的拼装器进行拼装。管片拼装应

按编号顺序进行；正常情况下应先装底拱管片。

5.4.6 管片拼装进度应满足隧洞掘进进尺要求。

5.5 混凝土运输

5.5.1 混凝土运输方案应统筹考虑水平运输与垂直运输，保证运输环节之间衔接高效、设备配套，并应与混凝土入仓和浇筑方案相适应。

5.5.2 混凝土运输方案应缩短运输时间及减少转运次数，以保证混凝土在运输过程中不初凝或失去塑性，并使混凝土在运输、卸料过程中不致发生分离、漏浆、泌水、过多温度回升和坍落度损失。

5.5.3 混凝土运输设备及运输能力，应与拌和、浇筑能力、仓面具体情况相适应。

5.5.4 混凝土运输方案应考虑混凝土卸料时自由下落高度，必要时应采取缓降或其他措施，以防止骨料分离。

5.5.5 混凝土运输设备选择应按下列规定执行：

1 运输设备性能良好，生产效率高。

2 运输设备应与运输通道的坡度、尺寸等相适应。

3 在保证工程质量的前提下，运输能力应满足高峰时段浇筑强度要求。

4 在固定的工作范围内应能连续工作，设备利用率高。

5 混凝土宜直接入仓，用带式输送机或自卸汽车入仓时，应有保证混凝土质量的可靠措施。

6 当混凝土运距较远时，应采用混凝土搅拌运输车。

7 起吊设备布置应满足安全要求。

5.5.6 在高温或低温条件下，混凝土运输工具应设置遮盖或保温设施。

5.5.7 混凝土水平运输设备应综合考虑运输能力、运输通道、运输距离、入仓方式等因素选定。

5.5.8 平洞全断面浇筑或边墙、顶拱浇筑，宜采用泵送混凝土

入仓。竖井、斜井宜采用水平运输设备经溜管、溜槽、负压（真空）溜管入仓；较短的竖井、斜井，有条件时可采用起吊设备配吊罐吊运、卷扬机牵引料斗或泵送混凝土入仓。

5.5.9 底板（拱）混凝土单独浇筑时，可采用水平运输设备直接入仓；大断面平洞边墙有条件时，可采用起吊设备配吊罐吊运混凝土入仓。

5.5.10 混凝土运输设备数量可根据月高峰浇筑强度、设备容量、设备小时循环次数、可供浇筑的仓面数和辅助吊运工作量等经计算或用工程类比法确定。

5.5.11 混凝土运输设备的小时循环次数应根据设备运行速度、取料点至卸料点的水平及垂直运输距离、装卸料工艺、设备配套情况、施工管理水平和工人技术熟练程度分析计算或用工程类比法确定。

6 灌 浆 施 工

6.1 一 般 规 定

6.1.1 灌浆施工所用的风、水、电应设置专用管路和线路。

6.1.2 已完成灌浆或正在灌浆的区域，其附近 30m 以内不应进行爆破作业；如必须进行爆破作业，应采取可靠的减震和防震措施。

6.2 灌 浆 设 备

6.2.1 搅拌机的转速和拌和能力应分别与所搅拌浆液类型和灌浆泵排浆量相适应，并应能保证均匀、连续地拌制浆液。

6.2.2 灌浆泵性能应与浆液类型、浓度相适应，容许工作压力应大于最大灌浆压力的 1.5 倍，并应有足够的排浆量和稳定的工作性能；灌注纯水泥浆液应采用多缸柱塞式灌浆泵。

6.2.3 灌浆管路应保证浆液流动畅通，并应能承受 1.5 倍的最大灌浆压力。

6.2.4 灌浆泵和灌浆孔口处均应安设压力表。

6.2.5 灌浆塞应和采用的灌浆方式、方法、灌浆压力及地质条件相适应；胶塞（球）应具有良好的膨胀性和耐压性能，在最大灌浆压力下应能可靠地封闭灌浆孔段，且易于安装和卸除。

6.2.6 灌浆压力大于 3MPa 时，应配制和采用下列灌浆设备和机具：

1 高压灌浆泵，其压力摆动范围不大于灌浆压力的 20%。

2 耐蚀灌浆阀门。

3 钢丝编织胶管。

4 大量程压力表，其最大标值宜为最大灌浆压力的 2.0～2.5 倍。

5 孔口封闭器或专用高压灌浆塞。

6.2.7 集中制浆站的制浆能力应满足灌浆高峰期所有机组用浆需要；制浆站应配备除尘设备，当浆液需掺入掺合料或加入外加剂时，应增设相应的设备。

6.2.8 采用湿磨细水泥灌浆时，应配备水泥湿磨机。

6.3 灌 浆 施 工

6.3.1 灌浆作业应按先回填灌浆后固结灌浆的顺序进行；接触灌浆应在回填灌浆之后进行；帷幕灌浆应在固结灌浆结束 7d 后进行。

6.3.2 回填灌浆施工应自高程较低的一端开始，向高程较高的一端推进；在塌方段，应在塌方最高处布置灌浆管和排气管。

6.3.3 大、中断面洞室地下工程的固结灌浆应安排进行灌浆试验。

6.3.4 回填灌浆的浆液材料宜采用水泥砂浆，固结灌浆的浆液宜为纯水泥浆，必要时可用化学灌浆；水泥浆液的水泥可用特细水泥或在制浆工艺中设置高速搅拌机。

6.3.5 回填灌浆、固结灌浆均应按分序加密的原则安排；回填灌浆的后序孔应包括顶部孔；高压固结灌浆应自上而下分段灌浆。

6.3.6 回填灌浆的灌浆泵应选用砂浆泵；固结灌浆宜选用多缸柱塞式灌浆泵。

6.3.7 拌制细水泥浆液应选用搅拌转速大于 1200r/min 的高速搅拌机；拌制塑性屈服强度大于 20Pa 的膏状浆液应选用大功率搅拌机。

6.3.8 混凝土衬砌结构的回填灌浆，在衬砌混凝土达到设计强度的 70%以上即可进行；一般洞室的回填灌浆可与衬砌混凝土施工平行作业。

6.3.9 钢衬接触灌浆应在衬砌混凝土浇筑结束 60d 后进行；所用水泥的强度等级和细度，应遵守 SL 62 的规定。

6.3.10 相距较近的隧洞，其高压灌浆作业宜安排同时进行，如分序进行，应保证自身灌浆的质量和临近洞室的安全。

7 施工总布置

7.1 一般规定

7.1.1 施工总布置方案除应服从整体工程施工总布置规划要求，并应遵守 SL 303 和 SL 487 的规定外，应与整体工程施工总布置方案相协调，并应满足地质灾害评估的要求。

7.1.2 施工总布置应集中、紧凑，减少占地面积；并应充分利用荒地、滩地和坡地，不占或少占耕地。

7.1.3 场内施工交通应结合整体工程施工总布置、地形地质条件及施工支洞布置情况统筹考虑。

7.1.4 施工总布置应满足环境保护、水土保持与节能降耗和卫生防疫要求，废水和污水处理系统应结合整体工程施工总布置统筹规划。

7.2 施工布置

7.2.1 施工临时设施宜根据地下洞室施工特点，结合施工总体布置规划及地形地质条件，布置在交通运输进、出洞口附近。

7.2.2 地下工程附近场地狭窄、施工布置困难时，可采取下列措施：

1 适当利用库区场地，布置前期施工临建工程。

2 结合主体工程施工方案，研究采用地下布置或半地下式布置。

3 充分利用山坡进行小台阶式布置。

4 提高临时房屋建筑层数和适当缩小间距。

5 重复利用场地。

6 利用弃渣填平洼地或冲沟作为施工场地。

7.2.3 下列地区不应设置施工临时设施：

1 **严重不良地质区或滑坡体危害区。**

2 泥石流、山洪、沙暴或雪崩可能危害区。

3 重点保护文物所在地、历史文化保护地、饮用水水源保护区、自然保护区等需要特殊保护的地区。

4 与重要资源开发有干扰的区域。

5 受爆破或其他因素影响严重的区域。

7.2.4 施工场地排水应遵守下列规定：

1 在设计洪水位范围内，应保障施工场地不淹没、不积水。

2 应确定场内冲沟、小溪的洪水流量，设置必要的排水设施和安全泄水通道，合理选择排洪或拦蓄措施。

3 相邻场地宜减少相对高差、避免形成洼地积水；台阶式布置的高差较大时，应设挡护和排水设施。

4 排水系统应完善、畅通、衔接合理。

7.2.5 生活用水与生产用水宜分开布置，生活用水应选择污染少、水质好的水源。

7.3 施工支洞布置

7.3.1 施工支洞的布置，应根据地下建筑物的布置、工程量、总进度、地形地质条件、结构形式、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，并应按下列规定执行：

1 采用钻孔爆破法开挖时，支洞在主洞轴线上的间距不宜超过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 若地下厂房分层开挖，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。

6 承担压力钢管运输的施工支洞，应满足压力钢管运输的要求。

7.3.2 设置施工支洞宜采用“一洞多用”，并应满足以下要求：

1 缩短工期，均衡各工作面的工程量。

2 创造较好的、可机械化施工的条件。

3 改善洞内施工期的通风条件。

4 减少施工干扰。

5 为工程运行期创造检修条件。

6 工程如分期建设，应兼顾分期建设的需要。

7.3.3 施工支洞布置应遵守下列原则：

1 选择支洞轴线地质条件较好洞段。

2 洞线较短。

3 通向支洞口的交通线路工程量小。

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 宜利用荒地，少占农田和林地，并减少对环境的破坏。

7.3.4 施工支洞的断面尺寸应根据通过支洞的施工运输设备和材料、设备运输的需要确定，还应兼顾排水沟（管）的位置和相关的安全距离及通风管等管线的设置；采用单车道时，每200m左右宜布置一个错车道。

7.3.5 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。当支洞布置有转弯段时，应满足运输车辆和运输物件的最小转弯半径和转弯洞段加宽值的要求。

7.3.6 不宜采用竖井与斜井作施工支洞。必须采用竖井与斜井作为施工支洞时，应按下列规定执行：

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，当布置隧洞一侧时，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 竖井内应设爬梯；爬梯应符合相关规范要求。

7.3.7 施工支洞洞底坡度，应按下列规定执行：

1 条件许可时，施工支洞进口处的底高程宜低于主洞交汇点的底高程，底坡坡度宜按0.3%～3%设置。

2 采用人力推斗车的有轨运输时，轨道坡度宜不大于1%；机车牵引有轨运输时，轨道坡度宜不大于3%。

3 采用无轨运输时，洞底坡度应不超过9%，相应坡长不超过150m；局部最大坡度不宜大于14%。

4 采用卷扬机牵引有轨出渣设备时，洞底坡度不宜超过25°。

5 采用带式输送机出渣的斜支洞的上坡洞，其洞底坡度不宜超过15°。

7.3.8 地下厂房系统施工支洞可布置在下列部位：

1 主厂房顶拱（兼做厂房通风洞）。

2 高压管道中、下平洞部位。

3 尾水隧洞。

4 引水洞的上平洞。

5 尾水调压室或主变室顶部。

6 长竖井或长斜井中部。

7 厂房底部。

7.3.9 布置地下厂房系统的施工支洞，应通过综合分析确定支洞的数量、位置、断面，避免造成重复设置甚至影响洞室群的稳定。

7.3.10 施工支洞封堵标准应与主体建筑物结构技术要求一致；堵头的体形应安全可靠，并应有利于施工。

8 施工进度

8.1 一般规定

8.1.1 施工进度安排应统筹兼顾开挖、支护、浇筑、灌浆、金属结构及机电设备安装等工序。

8.1.2 地下工程应根据工程规模、地质条件、施工方法及配套设备等，用关键线路法分析确定工程的施工程序和合理工期，以及各洞室、各工序间的相互衔接关系。

8.1.3 地下工程月进尺指标可根据工程及水文地质条件、施工方法、设备性能、工作面等情况，采用循环作业进尺分析并结合工程类比确定。对于关键线路上的主要洞室，应进行循环作业进尺分析。

8.2 施工进度控制

8.2.1 钻爆法施工循环作业时间应包含施工准备、测量放样、钻孔、起爆、通风散烟、清理危石、出渣运输等各工序作业时间。

8.2.2 掘进机施工宜根据岩石硬度级别拟定开挖小时进尺指标，宜根据掘进机养护要求及施工管理水平安排每日掘进时间和月施工天数。始发阶段掘进机试掘进阶段进尺应考虑掘进机施工工效的折减。

8.2.3 斜井、竖井开挖施工进度控制应根据施工方案进行下列分析：

1 采用全断面自上而下开挖时，垂直出渣运输时间应重点分析。

2 采用先自下而上开挖导井、后自上而下扩挖时，应分析导井施工及扩挖施工的作业时间。

8.2.4 地下厂房洞室群的施工进度安排，宜以主、副厂房为关

键项目进行施工进度分析，其中岩壁（台）吊车梁的施工进度安排宜重点分析；主厂房顶拱层开挖工期宜按照8.2.1条的规定进行分析，其下各层开挖工期宜按照梯段爆破开挖工艺进行分析。

8.2.5 对作为主、副厂房施工通道的各洞室的施工工期宜做重点分析。

8.2.6 隧洞混凝土衬砌浇筑施工，应通过循环作业进尺分析确定施工进度控制指标；衬砌浇筑循环作业时间应包括施工准备、架设钢筋、支模、浇筑混凝土、混凝土养护、拆模等各工序作业时间。

8.2.7 地下厂房混凝土施工进度计划应优先安排顶拱、岩壁（台）吊车梁混凝土浇筑施工。

8.2.8 地下厂房混凝土浇筑施工进度宜通过浇筑分层、排块或工程类比分析确定，二期混凝土浇筑在时间上应与水轮发电机组安装时间相协调。

9 通风与防尘

9.1 卫生标准

9.1.1 施工过程中，洞内氧气浓度不应小于20%，有害气体和粉尘含量应符合下列要求：

1 甲烷、一氧化碳、硫化氢含量应满足表9.1.1-1的要求。

表9.1.1-1 空气中有害气体的最高允许浓度

名称	最高允许含量		附注
	%（按体积计算）	mg/m^3	
甲烷（CH_4）	≤1.0	—	
一氧化碳（CO）	≤0.0024	30	一氧化碳的最高允许含量与作业时间 作业时间：最高允许含量（mg/m^3） <1h：50 <0.5h：100 15～20min：200
硫化氢（H_2S）	≤0.00066	10	反复作业的间隔时间应在2h以上

2 二氧化碳和粉尘等含量应满足9.1.1-2的要求。

表9.1.1-2 空气中有害物质的最高允许浓度

名称	最高允许含量		附注
	%（按体积计算）	mg/m^3	
二氧化碳（CO_2）	≤0.5		
氮氧化合物换算成二氧化氮（NO_2）	≤0.00025	5	

表 9.1.1-2（续）

名　称	最高允许含量		附　注
	%（按体积计算）	mg/m³	
二氧化硫（SO_2）	≤0.00050	15	
醛类（丙烯醛）	—	0.3	反复作业的间隔时间应在 2h 以上
含有 10%以上游离二氧化硅的粉尘	—	2	含有 80%以上游离二氧化硅的生产粉尘不宜超过 1mg/m³
含有 10%以下游离二氧化硅的水泥粉尘	—	6	
含有 10%以下游离二氧化硅的其他粉尘	—	10	

9.1.2 洞内平均温度不应超过 28℃，根据不同温度，可按表 9.1.2 规定调节洞内风速。

表 9.1.2　洞内温度与洞内风速关系

洞内温度（℃）	<15	15～20	20～22	22～24	24～26
洞内风速（m/s）	<0.5	<1.0	>1.0	>1.5	>2.0

9.1.3 洞内作业地点噪声超过 90dB（A）时，应采取消音和其他防护措施；若仍达不到标准时，应按表 9.1.3 规定减少接触噪声的时间，最大噪声不应超过 115dB（A）。

表 9.1.3　噪声允许接触时间

每个工作日接触噪声时间（h）	8	4	2	1
允许噪声［dB（A）］	90	93	96	99

9.2 通　　风

9.2.1 地下建筑物开挖时需要的通风量，按下列要求分别计算，取其中最大数值。

1 按洞内同时工作的最多人数计算，每人每分钟供给 3.0m³ 的新鲜空气。

2 按爆破后 20min 内将工作面的有害气体排除或冲淡至允许浓度计算；每公斤炸药（指 2 号岩石硝铵炸药）爆破后，可产生折合成 40L 一氧化碳气体。

3 洞内使用柴油机械施工时，可按每马力通风量 3.0m³/min 计算，并与同时工作的人员所需的通风量相加。

4 计算通风量时，漏风系数可取 1.20～1.45。

5 当洞、井位于高程 1000.00m 以上时，计算出的通风量应乘以高程修正系数。

1）施工人员所需通风量的修正系数为 1.3～1.5，高程低者取小值，高程高者取大值。

2）排尘通风量不做高程修正，爆破散烟所需通风量应除以高程修正系数，见表 9.2.1。

3）使用柴油机械时，通风量的高程修正系数取 1.20～3.9，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、最小允许风速和相应洞内温度所需风速进行校核。

表 9.2.1　高程修正系数

高程（m）	0	1000.00	1500.00	2000.00	2500.00	3000.00	3500.00	4000.00	4500.00	5000.00
修正系数	1.00	0.90	0.85	0.81	0.78	0.72	0.69	0.65	0.62	0.58

9.2.2 工作面附近的最小风速不应低于 0.15m/s，最大风速不应超过下列规定：

1 隧洞、竖井、斜井工作面不应超过 4m/s。

2 运输与通风洞不应超过 6m/s。

3 升降人员与器材的井筒不应超过 8m/s。

9.2.3 应尽可能创造利用自然通风的条件。大、中断面隧洞采用分部开挖方法时，应先贯通导洞；洞室群的开挖应先挖永久通风洞、交通洞、出线洞等，并与施工支洞、施工导洞相连通，形成自然通风条件；在自然通风难以满足要求时，应采用机械通风。

9.3 防尘、防辐射、防有害气体

9.3.1 地下工程施工宜采取下列综合防尘措施：

1 湿式凿岩。

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 地质条件允许时，宜利用压力水冲洗洞壁。

4 出渣前用水淋透石渣。

5 加强通风和吸尘。

6 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。

9.3.2 地下工程坐落在花岗岩地层时，施工中应进行辐射测量和氡浓度测定，如超过有关标准，设计应考虑下列防辐射措施：

1 加强通风除尘。

2 做好个体防护。

3 裂隙水处理。

4 弃渣处理。

9.3.3 若存在瓦斯地段，应按《煤矿安全规程》制定防瓦斯施工安全措施。

10 辅助工程

10.1 供　风

10.1.1 地下工程施工供风，根据各洞口布置情况，宜分片设置供风站，并应通过规划确定设站地点及其规模。

10.1.2 供风站设备容量，应包括工作容量和备用容量，备用容量又包括事故备用和检修备用。

10.1.3 对于地下厂房等洞室群供风，各供风站宜相互连通，联合供风。

10.1.4 供风容量应按同时使用的风动机具耗风量和供风管网漏损量确定工作容量；工作面的风压应满足风动机具的要求。

10.1.5 一个供风站的空压机宜为3～5台，且宜选用同一机型，不宜选用两种以上机型。

10.1.6 地下工程供风站设站区及其规模应通过规划确定，站址选择应按下列要求执行：

1 宜靠近各洞口，距离不宜超过500m；若采用掘进机、盾构机、顶管施工时，可适当加长。

2 接近变压器和供水管网。

3 便于设备搬运。

4 宜选择通风良好之处。

5 适当远离要求安静和防振要求较高的场所。

6 应有防火及降温、保温设施。

10.1.7 供风管路应按隧洞走向布置，并应与供水、排水管路一道整齐布置于隧洞边墙的下部。

10.1.8 供风系统的主供风管路与支线供风管路宜用钢管并焊接联结；接近用风设备30～50m以内宜用橡胶软管连接。

10.1.9 供风管路的直径应根据实际作业用风量、送风距离和管路允许的通风量，可按表10.1.9选取。

表 10.1.9　允许通过风量与管径、管长的关系

单位：m^3/min

管径 (mm)	管长 (m)										
	100	200	400	600	800	1000	1250	1500	2000	3000	5000
50	16	11	8	6	5	—	—	—	—	—	—
75	46	33	23	19	16	15	—	—	—	—	—
100	98	70	50	40	35	31	28	25	22	18	14
125	177	125	89	72	68	56	50	47	40	32	25
150	289	205	145	119	102	92	83	75	65	53	41
200	—	436	309	252	218	196	174	160	138	113	87
250	—	—	—	—	—	348	315	284	245	202	158
300	—	—	—	—	—	—	—	—	401	325	253

10.1.10　应根据作业区到空气压缩站的送风距离加上管路配件的折算当量长度计算送风距离；管路配件当量长度可按表 10.1.10 选取。

表 10.1.10　管路配件当量长度

配件	配件内径 (mm)						
	25	50	75	100	150	200	300
	当量长度 (m)						
球阀	6	15	25	35	60	85	140
闸阀	0.3	0.7	1.1	1.5	2.5	3.5	6.0
三通	2	4	7	10	17	24	40
标准弯头	0.2	0.4	0.7	1.0	1.7	2.4	4.0
逆止阀	—	3.2	—	7.5	12.5	18	30
异径管	0.5	1.0	1.8	2.5	4.0	6.0	10

10.1.11　钻孔机具等用风量可按公式（10.1.11）计算：

$$\sum Q = K_1 K_2 K_3 \sum nq \qquad (10.1.11)$$

式中　$\sum Q$——同时工作的钻孔机具等总耗风量，m^3/min；

n——同时工作的相同类型的钻孔机具等数量；

q——每台钻孔机具的耗风量，m^3/min，钻孔机具耗风量可参考设备使用说明书（或按有关资料查取）；

K_1——同时工作的折减系数，见表 10.1.11－1；

K_2——机具损耗系数，钻孔机具取 1.15，其他机具取 1.1；

K_3——管路损耗（漏气）系数，见表 10.1.11－2。

表 10.1.11－1　风动机具同时工作系数

机具类型	凿岩机		其他	
同时工作台数（台）	1～11	11～30	1～2	3～4
同时工作系数 K_1	1～0.85	0.85～0.75	1～0.75	0.75～0.56

表 10.1.11－2　管路风量损耗系数

管路长度（km）	<1.0	1～2	>2.0
损耗系数 K_3	1.1	1.15	1.2

10.2　供水与排水

10.2.1　供水应按下列要求执行：

1　地下工程施工供水应包括主体工程施工用水、施工机械用水、施工辅助企业生产用水、生活用水、消防用水以及其他用水。

2　施工供水应包括取水工程、净水工程和输配水工程。

3　生产供水和生活供水应分开供给，且应满足水质和水压要求。

4　用水量标准应按下列原则确定：

1）主体工程用水应按施工方法和施工设备确定。

2）施工机械用水应根据产品需要确定。

5　严寒地区洞外供水管路应埋于冻层以下 0.5m，或采取防冻保温措施，同时还应防止受到机械的破坏，洞口 100m 范围内

应采取防冻保温措施。

6 洞外管路沿山坡敷设时，宜每隔 6～12m 设混凝土支墩承托固定，并避开滑坡塌方地段。

7 应合理地选择水池位置、高程和结构型式；水池应满足日调节的要求。

8 水压应符合下列要求：

1）用户水压要求指供水点出口处的工作压力要求，各类用户水压可按表 10.2.1 选取。

表 10.2.1 各类用户水压要求 单位：m

用水户名称		要求水压
施工用水	混凝土一般养护	20～30
	混凝土流水养护	≥5
	凿毛冲洗	>30
	仓面喷雾	>20
	灌浆	≥10
	风动凿岩机	20～30
	潜孔钻	80～100
生产用水	空压机冷却水	7～20
	立式冷却器	≥5
	卧式冷却器	15～25
	发电机冷却水	7～15
	骨料筛分冲洗	20～25
注：表中数值指一般用户要求，个别要求较高者应单独加压。		

2）生活用水管网水压应根据建筑层数确定；一层为 10m，二层为 12m，二层以上，每增加一层增加 4m。

3）施工场区可采用低压消防，要求给水网中最不利点压力不小于 10m 水柱。

9 水质应符合下列要求：

1）施工用水及辅助企业生产用水对水质要求不高，通常

江河地表水源的水质均可满足，但水中含泥量不宜超过20～100mg/L；含泥量过大时应适当处理。

2）生活用水标准，应遵守GB 5749的规定。

10.2.2 排水应按下列要求执行：

1 生产用水宜采用分散排水与集中排放相结合，直接（或经排水泵）排至生产废水处理站；经处理达标的水可排至允许排放的区域；生活污水应经集中处理达标后排放。

2 工程施工排水量应包括：施工废水、地下渗水（地下涌水）、生活污水及不可预见来水量；排水系统布置时，应对排水量进行估算，确定各排水泵站的排水流量。

3 上坡开挖隧洞时，可利用排水沟自流排水；平坡及向下坡开挖隧洞时，可在适当地点设置集水井或积水箱并用水泵排水，排水管线宜在洞侧边墙下部用支架托起，不占压排水沟。

4 若预测可能发生突发涌水洞段，排水系统无法承担时，应有应急预案。

10.3 供电与照明

10.3.1 供电应按下列要求执行：

1 供电容量和电压应满足施工机械和照明用电要求。

2 应根据施工机械数量、负荷大小，结合工地供电网络统一规划，高压使用6kV和10kV电源，低压使用220V和380V电源。

3 线路电压、输电容量和有效半径，见表10.3.1－1。

表10.3.1－1 各级线路输电容量和有效半径

线路电压（kV）	输电容量（kW）	有效半径（km）
0.22	＜50	＜0.15
0.38	＜100	＜0.6
6	100～1200	4～15
10	200～2000	6～20

4 洞内排水及工作面照明应设置备用电源，备用电源应满足现场实际要求。

5 变压器站的位置宜布置在用电负荷中心。

6 洞室内的施工作业区，运输通道应有足够的照明度，可按表 10.3.1－2 布置照明设施。

表 10.3.1－2 各施工作业区照明度参考表 单位：lx

序号	项 目	照明度
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
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

10.3.2 用电量和变压器容量可按下列规定计算：

1 用电总量可按公式（10.3.2－1）计算

$$P = 1.1(K_1 \sum P_1 + K_2 \sum P_2 + K_3 \sum P_3) \tag{10.3.2-1}$$

式中 P——计算用电总量，kW；

$\sum P_1$——施工机械用电负荷之和，kW；参见设备使用说明书；

$\sum P_2$、$\sum P_3$——洞室内、室外照明负荷之和，kW，地下工程照明用电可按动力用电 10%考虑，室内、室外照明用电指标见表 10.3.2－1、表 10.3.2－2；

K_1——施工机械同时工作系数，10 台以下取 K_1＝0.75；10～30 台取 K_1＝0.7；30 台以上取 K_1

$=0.6$；

K_2、K_3——洞室内、外照明同时工作系数，$K_2=0.8$；$K_3=1.0$。

表 10.3.2-1　室内照明用电指标　　单位：W/m^2

项　目	用电指标	项　目	用电指标
空压机房、水泵房	7	办公室	6
临时变电站	10	宿舍	3
车库	5	修配厂	12
仓库、棚库	3		

表 10.3.2-2　室外照明用电指标

项　目	用电指标	项　目	用电指标
人工土石方工程	$0.8W/m^2$	渣场	$1\sim2W/m^2$
机械土石方工程	$1.0W/m^2$	主要道路	5kW/km
砖石工程	$1.2W/m^2$	次要道路	2.5kW/km
掌子面	$2\sim2.5W/m^2$	警卫照明	1.5kW/km

2　变压器容量可按公式（10.3.2-2）计算

$$P_b = KP/\cos\varphi \qquad (10.3.2-2)$$

式中　P_b——变压器所承担的总视在功率，kVA；

K——功率损失系数，取 1.05～1.10；

$\cos\varphi$——用电机械平均功率因数，取 0.75。

10.3.3　为保证地下工程安全，施工照明和用电应按下列规定执行：

1　施工照明应灯光明亮，且使人无刺眼感觉。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。

2　长隧洞使用低压供电，当电压下降过大时，可在成洞地段考虑用高压电缆引入 10kV 电压，在适当地点设置变压器降压至 400V 使用，电器装置应符合有关安全规程规定。

3 照明线与动力线应分别安设。

4 输电干线与动力线安装在同一侧时，应分层架设，高压在上，低压在下；干线在上，支线在下；动力线在上，照明线在下。

5 电线悬挂高度距人行地面的距离：400V 以下，不小于 2.0m；10kV，不小于 3.5m。线路应架设在风、水管路相对的一侧。

6 电力起爆主线应和动力线和照明线分开架设，不使用时应切断电源，并在靠近工作面一端接成短路。

7 地下照明应用防水灯头，淋水地段应加防水灯罩。

8 主要交通洞、竖井、斜井及涌水较大的抽水站和高压变电站等重要地段，应设事故照明。

9 在特别潮湿的场所、导电良好的地面、锅炉或金属容器内工作的照明电源，其电压不应大于 12V。

11 施工期安全监测

11.1 一 般 规 定

11.1.1 应根据工程地质与水文地质条件、设计文件、施工方法及工程特点，制定具体的安全监测方案。

11.1.2 施工期安全监测应以监控围岩稳定状态和结构安全为主，具有施工期安全监测功能的运行期监测项目应兼顾施工期监测。

11.1.3 仪器的安装、埋设、防护、监测等应纳入到主体施工工序中，并与主体工程施工紧密结合和衔接。

11.1.4 应建立安全监测信息反馈流程，及时指导施工和验证设计，提高信息化施工技术和管理水平。

11.1.5 应设置必要的交通、通信、照明设施，高度超过5.0m以上的监测作业，应设置高空作业台车等设备作为安全作业平台。

11.2 监 测 内 容

11.2.1 洞内应监测下列内容：围岩钻孔轴（横）向位移、洞室内空收敛变形、顶拱沉降、底拱上抬、围岩松动范围、围岩对支护结构的压力、围岩应力（岩爆地区）、支护结构应力与变形、质点振动速度、超前地质预报、有害气体和粉尘监测等。

11.2.2 洞外应监测下列内容：地面沉降、地下水位、地面质点振动速度、建筑物倾斜及开裂、地下管线破裂受损监测等。

11.3 监 测 布 置

11.3.1 中、小型地下洞室安全监测应重点监测下列部位：

1 洞内：Ⅲ～Ⅴ类围岩及断层破碎带、地下水丰富地段、膨胀性围岩、洞口及隧洞交叉地段、埋深较浅地段、受邻区开挖

影响较大地段、溶洞及高地应力区段等。

2 洞外：埋深较浅的软岩或软土区段、洞口高边坡、受爆破震动影响较大区域内的建筑物等。

11.3.2 大型地下洞室安全监测应重点监测下列部位：

1 垂直纵轴线的典型断面。

2 高边墙及贯穿于高边墙的小型隧洞口及其洞口段。

3 岩壁吊车梁的岩台区域。

4 相邻洞室间的薄体岩壁。

5 地质构造面组合切割的不稳定体等。

11.3.3 在隧洞穿越规模较大断层破碎带、滞水层或富含水地段、溶岩发育地段、浅埋地段前，应布置超前地质预测预报，预测预报范围应不小于超前掌子面距离100m。

11.3.4 多种监测仪器宜集中结合布置。重点监测断面或部位监测仪器布置应不少于2种。

11.4 监测仪器及安装

11.4.1 应根据监测项目选择精度和量程满足要求、性能稳定、耐久性及抗震性能强、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。

11.4.2 监测仪器安装位置应紧跟开挖面，距掌子面不宜超过1.0m，安装和埋设后的仪器应能在掌子面推进前获得可靠的初始读数。

11.4.3 仪器应安装和埋设在变形或应力变化较大部位，安装埋设方向应与洞室围岩或结构最大变形（受力）方向一致。

11.4.4 仪器测点安装埋设应按下列规定执行：

1 洞室内空收敛测点，中、小型地下洞室每个监测断面宜为3～5点，大型地下洞室应根据断面分步开挖顺序安装测点。

2 多点位移计测点，中、小型地下洞室不应少于3点，大型地下洞室不应少于5点。测点分布宜根据位移变化梯度确定。位移基准点应安装在变形影响范围以外的岩体中。

3 锚杆应力计测点，监测锚杆应力分布的测点不应少于3点，监测锚杆长度不应小于支护锚杆长度。

11.4.5 监测仪器埋设及其电缆走线应进行防水、防施工损坏等安全防护设计，埋设位置应进行明显标志设计。

11.4.6 采用钻孔注浆埋设的监测仪器，应根据浆体收缩量加深其钻孔。浆体宜采用早强和微膨胀材料。在浆体未达到固化强度时，不应进行掌子面掘进作业。

11.5 监测技术要求

11.5.1 根据开挖进尺所揭示的不同地质条件，宜尽早安排监测，以便及早获得监测结果，为早期预测预报做好充分准备。

11.5.2 监测应与现场巡视相结合，现场应重点巡视下列地点如下：

1 爆破后隧洞掌子面围岩及前沿支护状态。

2 大小洞室群体的交叉段、洞口段、洞室岩壁及拱座地段。

3 软弱围岩地段及支护结构状态。

4 外洞口边坡与不稳定山体，洞上方地面与受影响建筑物等。

11.5.3 首次监测测点距先锋掌子面应不超过1.0m；在测点距掌子面3倍洞径内，应每开挖进尺循环监测1次，且监测时间间隔不宜超过12h；在测点距掌子面3倍洞径以外，每日监测应不少于1次；当测值变化速率有加速增长或渐缓趋势时，应适当增减测次。

11.5.4 通过监测结果分析，发现围岩或支护结构有失稳预兆或险情时，应停止开挖，并应调整开挖方法和（或）支护措施。

11.5.5 监测数据应及时处理和分析，其成果应以监测简报的形式定期向相关单位通报。监测简报主要内容应包括：

1 整理后的监测图表，即监测的最大量值、最大速率，监测量值与时间（进尺）关系曲线，监测量值的分布规律等。

2 当监测数据积累到一定程度时，监测量值与时间（进尺）

关系曲线的回归分析或其他数学方法分析结果，最终监测量值的预测，以及监测量值的变化规律等。

3 结合开挖方式、支护形式、地质情况等影响因素进行监测成果的综合分析。

4 对施工措施的评价和建议。

5 围岩稳定情况的分析与评价。

附录A　光面爆破与预裂爆破参数

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

表A.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）
坚硬岩	550～650	600～800	300～350
中硬岩	450～600	600～750	200～300
软质岩	350～450	450～550	70～120
注：炮孔直径，40～50mm；药卷直径，20～25mm。			

表A.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）
坚硬岩	450～500	400	350～400
中硬岩	400～450	400	200～250
软质岩	350～400	350	70～120
注：炮孔直径，40～50mm；药卷直径，20～25mm。			

A.0.2　孔深不小于5m的深孔预裂爆破参数宜按下列要求执行：

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公式（A.0.2-1）或公式（A.0.2-2）估算：

1）岩体较为坚硬，其极限抗压强度R为20～200MPa时

$$\Delta g = 0.042R^{0.5}a^{0.6} \qquad (A.0.2-1)$$

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

$$\Delta g = 9.32R^{0.53}r^{0.38} \qquad (A.0.2-2)$$

式中 r——预裂孔半径，mm。

A.0.3 质点振动速度的允许值可按表 A.0.3－1 选取。质点振动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。

表 A.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：初凝至 3d	2.0～3.0		
		龄期：3～7d	3.0～7.0		
		龄期：7～28d	7.0～12.0		
注：表中所列频率为主振频率，系指最大振幅所对应的频率。					

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

隧洞、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。

质点振动速度传播规律可按经验公式（A.0.3）计算：

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

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、a——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 A.0.3－2 中的数值选取。

表 A.0.3－2 爆破区不同岩性的 K、a 参考值

岩　性	K	a
坚硬岩	50～150	1.3～1.5
中硬岩	150～250	1.5～1.8
软质岩	250～350	1.8～2.0

附录 B　有关爆破监测方法的规定

B. 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，其成果可作为确定爆破影响范围程度的判据。

B. 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，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 2. 0m 范围内每隔 0. 2m 量测一次波速，2. 0m 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。

B. 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，每对孔孔距应根据声波仪换能器发射能量确定，不宜少于 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。

B. 0. 4　压水或注水试验法应按下列规定执行：

1　爆破区中心应设压水孔测其深度破坏范围，爆心周围应布设压水孔，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，压水试验段长度应为爆破孔孔底以下 40 倍孔径。

3 爆破前和爆破后在相同高程应采用双层阻塞法分段作压水试验，试验长度应为 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。

B.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

水利水电地下工程施工组织设计规范

SL 642—2013

条 文 说 明

目　　次

1　总则…… 55
2　开挖…… 56
3　不良地质条件部位的开挖与支护…… 79
4　临时支护…… 83
5　衬砌施工…… 87
6　灌浆施工…… 95
7　施工总布置…… 96
8　施工进度…… 99
9　通风与防尘 …… 100
10　辅助工程…… 104
11　施工期安全监测…… 107

1 总　　则

1.0.2 具有地下洞室的大、中型水利水电工程，其地下洞室施工大都为关键工程或重要工程，因此规定了本标准的适应范围。而对于小型水利水电工程的地下工程，施工规模（长度、断面尺寸）一般较小，因此规定了可参照本标准执行，但对于具有较长隧洞（>3.0km）的小型水利水电工程，建议按本标准执行。

1.0.4 目前施工仿真技术作为优选施工方案的辅助手段，在大型水利水电工程施工组织设计中应用较多，由于大断面和特大断面的长隧洞及洞室群施工的各工序配合与相互干扰错综复杂，而且受到各方面因素的影响与限制，因此大都处在整个工程施工的关键线路或次关键线路上。通过施工仿真技术可优化隧洞的支护形式、开挖方式，优选施工通道、施工机械设备、通风布置方案等，可使安排的施工工期合理、施工成本降低和安全施工有保障等，为此建议对处于工程施工关键线路上的大断面和特大断面的长隧洞及洞室群的施工方案，必要时采用施工仿真技术进行比选确定。

2 开　挖

2.1 一 般 规 定

2.1.3 采用光面爆破和预裂爆破技术能使隧洞的围岩受到的爆破破坏和振动大为减轻，并能使隧洞岩壁表面平整，改善围岩支护结构的受力状况，有利于围岩稳定。

预裂爆破是在爆破开挖过程中，沿设计开挖轮廓线打密集孔装少量炸药预先爆炸成缝，以防止爆破区炮孔爆破引起爆区外保留岩体或其他建筑物破坏的一种爆破技术。地下大断面洞室分台阶的下部岩体开挖和有特殊轮廓要求的关键部位开挖，应采用预裂爆破。

光面爆破是一种控制岩体开挖轮廓的爆破技术，在设计断面内的岩体爆破崩落后最后起爆周边孔。爆破后围岩断面成形规整，能有效减少应力集中和局部落石的现象，减轻爆破对围岩的扰动和破坏，在隧洞开挖中已得到广泛应用。一般隧洞的顶层以及水平钻孔的边墙及底板均采用光面爆破技术。

2.1.6 寒冷及严寒地区地下工程开挖，洞外辅助工程应有防冻保温措施。高海拔缺氧地区，大气压低，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。

2.2 开挖方案选择

2.2.1 钻爆法适用于各类围岩、尺寸和断面洞室的开挖。钻爆法开挖隧洞，受通风等条件限制，其单头工作面的长度一般不超过 2000m。

2.2.2 本条规定主要根据目前国内水利水电工程常用的施工机械设备的性能提出的，坡度小于 6°时，即可满足自卸汽车等施工设备通行要求。

2.2.3 本条所列洞径 3m 仅指掘进机可制造的最小直径。当实际采用时，尚应综合考虑施工期的通风、装渣、运渣工况对洞内断面尺寸的需要后确定。根据以往的经验，若选用标准的出渣设备，其隧洞断面尺寸不宜小于 4m。若专门采购新的掘进机，掘进洞长不超过 3.0km 是很不经济的。

当围岩条件太差或岩石单轴抗压强度过高时，均不适合掘进机作业，目前常用的掘进机可切割岩石的单轴抗压强度均不超过 200MPa。

当采用掘进机开挖时，地下涌水量要小于 30L/s。

2.2.5 在地层渗透性强、地下静水压力较高或非黏性土层中，可以选用泥水平衡式盾构掘进机施工。当符合下列条件时，可以优先选用土压平衡式盾构掘进机施工：

(1) 在含有足够的细颗粒、适宜的含水量、水压较小的土壤里开挖隧洞时。

(2) 隧洞沿程有高含量的细料和黏性颗粒（如不固结的黏土、白垩岩等）时。

(3) 对地下水的污染有较高环境保护要求时。

2.3 钻爆法开挖

2.3.1 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、支护方法，是保证施工安全的重要措施。

1 当洞口明挖量大、工期又较紧时，可以利用施工支洞或导洞自内向外开挖，并及时做好支护。

2 洞口开挖前，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。按设计要求，做好坡面的加固。根据需要，可在洞口设置防护棚、洞脸上部设置挡石栅栏或挡渣墙等防护设施。

对岩体软弱、破碎、成洞条件差的洞口，在进洞前以及洞口段开挖时，可布置超前支护，目的是保证施工安全和开挖后洞口稳定。超前支护的型式可结合实际情况采用超前锚杆、超前小导

管、超前管棚、超前预注浆等方式。

3 岩石条件较好时，锁口支护可采用锚喷支护的型式；岩石条件较差时，锁口支护必须紧跟开挖面，可采用钢支撑、钢格栅结合锚喷支护的型式，必要时还应对洞口段采用混凝土衬砌锁口。

如有条件，锁口支护一般结合永久结构进行设置。采用临时锁口支护时，不能侵占设计的结构断面。

地下洞室规模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（指设计开挖断面，下同）小于 $10m^2$ 或跨度小于 3.0m。

(2) 小断面：面积为 $10\sim30m^2$ 或跨度为 3.0～5.5m。

(3) 中断面：面积为 $30\sim60m^2$ 或跨度为 5.5～7.5m。

(4) 大断面：面积为 $60\sim120m^2$ 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。

2.3.2 用钻爆法进行平洞开挖的方法很多，但归纳起来主要分为两大类：即全断面开挖和分区分层开挖。通常根据工程规模（断面大小、隧洞长短）、地质条件（围岩类别、地质构造等）、工期要求、施工设备性能和施工技术水平等因素，经综合分析研究后确定开挖方案。

2 对于洞径在 10m 以下的圆形隧洞，一次开挖到设计断面后，出渣车辆无法在隧洞底板上行驶，因此要考虑开挖后的交通需求。目前采用全断面开挖、底部预留石渣作为通道这种方法的工程较多，但也有不少工程采用先开挖上台阶、下台阶留作施工通道、待上台阶施工完成后再开挖下台阶的方法。

3 直边墙洞室的下部扩大开挖布置垂直爆破孔，其钻眼与装渣基本上可同时作业，从而可加快扩大开挖的进度，因此采用垂直钻孔较多。

在钻设垂直的光面爆破或预裂爆破孔时，为了保证钻孔的精度，需搭设样架，固定钻机，并在开孔前、钻进过程中进行钻孔的检查。

4 确定隧洞开挖的循环进尺是地下工程施工组织设计的一

项重要内容。循环进尺大小主要取决于围岩的特性和凿岩机械的性能。根据国内一些工程的施工资料，一般为：

(1) 隧洞围岩为Ⅰ～Ⅲ类时，每循环进尺：手持凿岩机钻孔采用 2.0～3.5m；钻架台车或多臂钻车钻孔采用 3.0～5.0m。

(2) 隧洞围岩为Ⅳ类、Ⅴ类时，每循环进尺采用 0.8～1.5m。

2.3.3 斜井介于平洞和竖井之间，选择施工方法时，要充分考虑斜井的角度。

(1) 考虑到目前水平运输车辆的性能，当倾角小于 6°时，重载情况下能够正常行驶，所以一般按平洞开挖方法施工。

(2) 当倾角大于 45°时，开挖石渣可自行溜到井底。目前无论是国产还是国外引进的反井钻机（或称天井转机）等设备，均具有开挖倾角大于 45°的斜井的能力，见表 1、表 2、表 3、表 4。

(3) 当斜井断面较大时，目前使用的斜井自下而上开挖手段，其适用的开挖尺寸一般均小于设计要求的开挖尺寸，而且全断面自下而上开挖也是不经济的，因此往往用爬罐或反井钻机施工导井，再自上而下进行扩大开挖。

(4) 当隧洞上弯段转弯半径小于开挖设备的最小转弯半径时，按施工要求扩大开挖面。

2.3.4 竖井开挖时，有自上而下开挖和自下而上开挖两种方法。

(1) 竖井断面较大时，指开挖断面不小于 18m^2 的竖井；竖井断面较小时，指开挖断面小于 18m^2 的竖井。

(2) 早期的竖井开挖方法中，较多工程采用了爬罐施工，如渔子溪水电站、鲁布革水电站、广州抽水蓄能电站、天荒坪抽水蓄能电站、桐柏抽水蓄能电站、十三陵抽水蓄能电站等。该施工方法适用性强，速度快，但其准备时间较长，操作人员劳动条件差。根据国内近年来工程实践经验，反井钻机（或称天井钻机）得到广泛的应用。尤其是随着设备制造能力和设备性能的不断改进和提高，采用反井钻机进行竖井、斜井开挖，越来越显示出其成井速度快、施工安全、劳动条件好的优越性。表 5、表 6 分别列出了国内部分工程使用爬罐和反井钻机施工的情况。

表 1　部分国产反井钻机主要技术指标

技术指标	设备型号				
	BMC 200	BMC 300	BMC 400	BMC 600	LM—200
导孔直径（mm）	216	241	270	350～380	216
设计最大扩孔直径（mm）	1200	1400	2000	3500～5000	1400
设计最大钻井深度（m）	200	300	400	600	200
额定转速（r/min）	2～43	2～20	0～22	0～18	0～20
额定扭矩（kN·m）	35	64	96	300	40
钻进推力（kN）	350	550	1650	1300	350
扩孔拉力（kN）	850	1250	2450	6000	850
最小倾角（°）	60～90	50～90	60～90	60～90	60～90
运输尺寸（长×宽×高）（mm×mm×mm）	2290×1230×1430	3085×1468×1260	3270×1750×1950	—	3200×1400×1650
工作尺寸（长×宽×高）（mm×mm×mm）	3110×1390×3340	3250×1514×3635	3310×1830×4740	3700×2100×5520	3200×1700×3600
主机重量（kg）	7900	8700	12500	26500	8300

表 2　部分国外公司生产的反井钻机主要技术指标

技术指标	制造厂及型号											
	（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 无极调速	多级调速	6～54 多极调速	0～70 无极调速	0～45 无极调速	0～57 无极调速	0～57 无极调速	0～45 无极调速	0～90 无极调速	0～100 无极调速	0～150	0～68	0～60
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

表 2（续）

技术指标	制造厂及型号												
	（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
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
外形尺寸（长×宽×高）（mm×mm×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	（宽×高）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 3　芬兰 INDAU 反井钻机主要技术指标

技术指标	设备型号			
	90—H	120—H	500—H	60—H
导孔直径（mm）	279～381	279～381	311～381	229～381
扩孔直径/最大深度（mm）	1219/450 1524/400 1829/300 2134/200 2438/200	1219/500 1524/500 1829/400 2134/300 2438/250	2438/1000 3048/1000 3658/1000 4572/800 6096/600	914/500 1219/450 1524/400 1829/300 2134/200
先导钻孔钻挖速度（mm/min）	0～220	0～220	0～70	0～220
扩挖钻孔钻挖速度（mm/min）	0～114	0～114	0～40	0～114
钻杆直径（mm）	254	254	327	203～254
最小倾角（°）	15～90	15～90	30～90	15～90
最大高度（1.52m 钻杆）（m）	4.37	4.37	5.42	4.37
最大高度（1.22m 钻杆）（m）	3.76	3.76	—	3.76
宽度（m）	1.22	1.20	1.85	1.22
运输长度（m）	3.12	3.12	3.7	3.15/2.84
质量（kg）	6400	8500	18800	6400

表 4　维尔特反井钻机主要技术指标

技术指标	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）	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

根据以上情况，4款提出若地质条件和井深合适，宜优先采用反井钻机。

(3) 土层中开挖竖井，井壁自稳性差，必须边开挖边支护，临时支护一般也采用混凝土或钢筋混凝土衬砌。如溪洛渡水电站左、右岸出线竖井上段，1号竖井覆盖层段深115m，覆盖层段开挖直径为14m；2号竖井覆盖层段深126m，覆盖层段开挖直径为14m；3号竖井覆盖层段深65m，开挖直径为13.6m；4号竖井覆盖层段深62m，开挖直径为11.6m。开挖台阶高度为3.0m左右，滞后开挖一个循环进行一期钢筋混凝土衬砌，全井开挖结束后，再进行二期衬砌施工。

(4) 按井架布置和卷扬机布置等要求确定井口平台的场地。

(5) 自上而下全断面开挖或者全断面扩挖时，无论是露天井口或埋藏式井口，都必须采取措施，以确保井口稳定。井口需设置必要的拦护设施，防止井内坠物。另外，还要采取措施防止地表水流入井内和杂物坠入井中。

井口的锁口深度为一般3.0～5.0m，大断面或岩石条件差的竖井适当加深。锁口尽可能结合永久结构，一次到位。当不能利用设计的永久支护或混凝土衬砌时，可以采用临时支护措施锁口，但临时支护措施不得侵占设计的结构断面。

(6) 涌水和淋水直接影响井壁的稳定，尤其是土层中开挖的竖井，必须控制好井壁渗水、涌水，做好引、排水工作，严禁渗水、涌水沿井壁面流动。

(7) 竖井内作业危险性高，必须做好相关安全防护，井口、井内的安全设施布置必须可靠，提升系统的钢丝绳要设置防坠器。

(8) 在复杂的地下洞室群施工时，竖井往往起着改善施工期通风散烟环境的重要作用，因此，如果条件具备，要充分加以利用。

2.3.5 洞室群施工与单一洞室施工相比，洞室之间的相互关系十分重要。洞室群施工中，平行和交叉作业项目多，施工的先后次序对洞室的稳定、施工安全、工期等都有一定的影响，需统筹考虑，编制网络进度，抓住关键施工项目，优化施工程序。

表 5　反井钻机开挖导井情况

技术指标	工程名称							
	十三陵抽水蓄能电站出线竖井	十三陵抽水蓄能电站 1 号高压管道下斜井(50°)	蒲石河抽水蓄能电站副厂房排风竖井	溪洛渡水电站 1 号、2 号出线竖井上段	溪洛渡水电站 3 号、4 号出线竖井上段	泰安抽水蓄能电站		宜兴抽水蓄能电站 1 号引水隧洞下竖井
						220kV 出线竖井	引水竖井	
开挖断面(m)	D8.6	D6.6～D11.6	D1.4	覆盖层 D14，基岩段 D11.5	覆盖层 13.6/11.6，基岩段 11.5/12.5	10.4×10.1	D9.2	ϕ6.4m
井深(m)	157.84	238	214	251	3 号/252，4 号/249.6	201	250	266
地质条件	砾岩，抗压强度 92MPa	砾岩、安山岩，抗压强度 90～95MPa；安山岩，抗压强度 90～200MPa	以花岗岩、花岗片麻岩、玄武岩为主	洪积体、冰川、冰水堆积体、古滑坡堆积体、砂页岩、13 层顶紫红色凝灰岩、玄武岩	洪积体、冰川、冰水堆积体、古滑坡堆积体、砂页岩、14 层顶紫红色凝灰岩、玄武岩	太古界泰山群混合花岗岩	太古界泰山群混合花岗岩	石英砂岩夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩
反井钻机型号	LM—200	LM—200	BMC—300	LM—300	LM—200	LM—200	LM—200	LM—200

表 5（续）

技术指标		工程名称							
		十三陵抽水蓄能电站出线竖井	十三陵抽水蓄能电站 1 号高压管道下斜井(50°)	蒲石河抽水蓄能电站副厂房排风竖井	溪洛渡水电站 1 号、2 号出线竖井上段	溪洛渡水电站 3 号、4 号出线竖井上段	泰安抽水蓄能电站		宜兴抽水蓄能电站 1 号引水隧洞下竖井
							220kV 出线竖井	引水竖井	
钻导孔	施工时间	1992 年 3 月 28 日～4 月 6 日	1992 年 11 月 14 日～1993 年 2 月 6 日	2007 年 4 月 2 日～5 月 4 日	2008 年 12 月 26 日～2009 年 1 月 2 日	2008 年 12 月 26 日～2009 年 1 月 5 日	2003 年 1 月 20 日～3 月 5 日	2003 年 4 月 20 日～5 月 20 日	2004 年 4 月 24 日～5 月 25 日
	导孔直径（mm）	216	216	244	216	216	216	216	216
	实际钻深（m）	160.8	240.82	214	136	188	201	229	—
	实际纯钻时间（h）	76	29	336	—	—	—	—	—
	纯钻进速度（m/h）	2.12	砾岩段：平均 0.84；安山岩段：平均 0.44	0.64	—	—	—	—	—
	实际偏斜率（%）	0.787	1.08	0.44	—	—	—	—	—
	平均日进尺（m）	11.6	8.3	15.36	17.0	17.9	—	7.39	8

表 5（续）

技术指标		工程名称							
		十三陵抽水蓄能电站出线竖井	十三陵抽水蓄能电站 1 号高压管道下斜井(50°)	蒲石河抽水蓄能电站副厂房排风竖井	溪洛渡水电站 1 号、2 号出线竖井上段	溪洛渡水电站 3 号、4 号出线竖井上段	泰安抽水蓄能电站		宜兴抽水蓄能电站 1 号引水隧洞下竖井
							220kV 出线竖井	引水竖井	
扩孔	施工时间	1992 年 4 月 22 日～5 月 6 日	1993 年 2 月历时 44d（实际 26d）	2007 年 4 月 19 日～5 月 4 日（实际 13d）	2009 年 1 月 4～15 日	2009 年 1 月 7～22 日	2003 年 3 月 6 日～7 月 5 日	2003 年 6 月 15 日～8 月 5 日	2004 年 5 月 25 日～6 月 16 日
	扩孔直径（mm）	1400	1400	1400	1400	1400	1060	1200	1400
	实际钻深（m）	158.5	237	214	136	188	196	240	—
	平均日进尺（m）	10.57	9.12	16.46	11.33	11.75	1.65	4.62	10
从导孔开始至扩孔完综合日进尺(m)		6.34	1.39（总计 173d）	6.48	6.48	6.71	0.64（总计 314d）	0.8	4.9（总计 54d）

表 6　爬罐法开挖导井情况

技术指标	工程名称					
	渔子溪水电站二级	鲁布革水电站		天生桥水电站二级	天荒坪抽水蓄能电站	桐柏抽水蓄能电站
洞长（m）	总长 570，其中斜井 388	64	937.50（2 条）	160	289.5	363.8（2 条）
开挖直径（m）	5.0	15	5.4	6.7	8.2	10
倾角（°）	46	—	18	90	58	50
施工方法	先导井后扩大法，导井：SIH—5L 爬罐；扩大：手风钻，人工扒渣	先导井后扩大法，导井：SIH—5L 爬罐；扩大：2 台 PCR—200 型潜孔钻，VH07 型反铲扒渣	先导井后扩大法，导井：爬罐法；扩大：使用支柱式钻机平台车，手风钻孔	先导井后扩大法，导井：SIH—5L 爬罐；扩大：自制施工平台，手风钻垂直打孔，周边光爆	用左导井 2.6m×2.6m 台车，手风钻	SHT—5EE2.7m×2.5m，扩挖：自制台车，手风钻全断面

表 6（续）

技术指标		工程名称								
		渔子溪水电站二级		鲁布革水电站				天生桥水电站二级	天荒坪抽水蓄能电站	桐柏抽水蓄能电站
导井	部位	下段	中段	调压井	1号压力斜井	2号压力斜井	排水斜井	引水洞竖管段	引水洞斜井	引水洞斜井
	平均日进尺（m）	2.6	1.4	2.3	2.9	4.8	5.6	1.8	3.4	3
	最高日进尺（m）	3.6	2.5	4.0	8.0	8.0	10	—	—	—
	平均月进尺（m）	—		56	89	121	120	55	100	75
	最高月进尺（m）	70		56	100	160	180	80	127	90
扩挖	平均月进尺（m）	—		—	75			—	—	50
	最高月进尺（m）	—		22	—			—	—	60

（1）地下洞室群开挖期的整体机械通风设计比较复杂，且存在开挖与混凝土衬砌平行作业的安排，对通风管路的安装与运行造成很多困难，故要结合洞室群的布置特点，尽早形成自然通风的通道，改善施工条件。

（2）对特大洞室群，为保证围岩稳定，其施工程序要通过三维稳定、应力计算、计算机仿真等，经过研究后确定。

2.3.6 随着我国各类水利水电工程的大量兴建，大型、特大型地下洞室的相关技术得到快速发展，被越来越广泛地采用。为此，通过对以往工程实践的总结，本条总结了大型地下洞室开挖应遵循的一些原则：

（1）对于高边墙、大跨度的地下洞室开挖，首先要研究确定合理的开挖分层。开挖分层决定于洞室的地质条件、洞室的规模及施工通道、施工设备和工期要求等因素，从保证围岩稳定、方便施工、充分发挥施工设备能力和满足工期要求出发，研究确定开挖分层。分层高度多为 6.0～10.0m，其中顶拱层开挖高度要根据开挖后底部不妨碍吊顶牛腿的锚杆施工、不影响多臂钻最佳效率发挥、第二层如果采用垂直钻孔时的下钻需要，以及当顶部为混凝土衬砌时其拱座距下一层开挖面的距离宜控制在 1.5m 以上等因素综合确定。

（2）主厂房岩壁吊车梁所在层的层高要考虑岩壁吊车梁锚杆的造孔、安装和吊车梁混凝土浇筑，以及下层开挖爆破对岩壁吊车梁混凝土的爆破的安全要求，通常以在吊车梁以下不小于 2.0m 较合适。国内部分大型地下洞室开挖分层特性见表 7、表 8。

（3）施工通道包括永久通道和增设的临时通道。在地下厂房通常可利用的永久道路中，厂顶通风洞可作为厂房和主变室第 1 层和第 2 层开挖的施工通道；厂房交通洞可作为厂房第 3 层和第 4 层及主变室第 3 层开挖的施工通道；厂房第 5 层及以下各层可分别通过高压管道、尾水洞等洞室及另设置的临时通道进入；地下厂房底部施工，通常设置专门的施工支洞完成。临时通道可以

表 7　国内部分地下厂房开挖分层及施工特性

序号	工程名称	装机容量（MW）	厂房尺寸（长×宽×高）（m×m×m）	开挖量（万 m^3）	围岩性质	开挖分层（层）	开挖工期（月）	月施工强度（m^3/月）	
								平均	最高
1	白山（一期）	900	123×25×54.35	15.46	混合岩	3	43	3680	10700
2	鲁布革	600	125×15.5×32.7	7.70	白云质灰岩	5	22.5	3245	16000
3	广州抽水蓄能（一期）	1200	146.5×21×44.54	10.50	斑状黑云母花岗岩	5	17.5	4192	18400
4	广州抽水蓄能（二期）	1200	150.5×21×47.64	11.94	斑状黑云母花岗岩	6	20	5970	—
5	十三陵抽水蓄能	800	145.0×23×46.6	12.91	砾岩	7	27	6148	—
6	水布垭	1600	168.5×23.0×69.47	18.30	碳岩	8	26	7000	—
7	天荒坪抽水蓄能	1800	200.7×21×47.53	17.00	凝灰岩	6	22	7727	—
8	小浪底	1800	251.5×26.2×61.4	27.60	砂岩	10	—	—	—
9	二滩	3300	280.29×30.7×65.58	40.50	正长岩、玄武岩	10	33.5	11960	—
10	大朝山	1350	233.9×26.4×67.3	27.92	玄武岩、凝灰岩	7	29	9600	—
11	棉花滩	600	129.5×21.9×52.08	12.50	花岗岩	6	16.5	11900	—
12	泰安抽水蓄能	1200	190×24.5×52.27	21.00	花岗岩	6	26.5	7900	—
13	桐柏抽水蓄能	1200	182.7×24.5×60.25	19.20	花岗岩	7	27.0	7100	—
14	龙滩	4200	388.5×28.9×77.3	64.06	砂岩、粉砂岩、泥板岩	9	32	2070	—
15	蒲石河抽水蓄能	1200	165.8×22.7×54.1	17.90	混合花岗岩	9	24.6	7276	—
16	官地	2400	158.7×31.10×76.30	36.95	玄武岩	11	33	11197	—

表 8　国内部分地下厂房开挖分层情况

工程名称	主厂房尺寸（长×宽×高）（m×m×m）	开挖量（万 m^3）	开挖分层（层）	分层高度（m）										
				1层	2层	3层	4层	5层	6层	7层	8层	9层	10层	11层
十三陵抽水蓄能	145.0×23×46.5	12.91	7	10.50	3.40	10.00	8.00	5.00	6.00	3.70	—	—	—	—
二滩	280.29×30.7×65.68	40.50	10	8.98	6.00	6.00	6.50	6.20	6.50	6.50	5.60	6.70	7.70	—
天荒坪抽水蓄能	200.7×21×47.5	17.00	6	8.50	7.00	7.56	7.87	10.00	6.80	—	—	—	—	—
桐柏抽水蓄能	182.7×24.5×52.95	22.90	7	9.75	8.80	6.90	7.00	8.40	5.38	6.72	—	—	—	—
泰安抽水蓄能	190×24.5×52.275	21.00	6	9.775	9.00	7.50	7.00	12.80	6.20	—	—	—	—	—
小湾	298.4×30.6×82.0	54.40	10	10.70 (11.86)	9.20 (6.60)	6.30	6.75	8.80	6.70	8.50	10.95	—	—	—
棉花滩	129.5×21.9×52.08	12.50	6	9.18	7.40	7.80	7.30	10.90	9.50	—	—	—	—	—
蒲石河抽水蓄能	165.8×22.7×54.1	17.90	9	8.60	6.00	5.50	5.50	6.10	7.40	6.50	5.00	5.00	—	—
官地	158.7×31.10×76.30	36.95	11	8.00	7.50	7.00	7.50	8.00	8.00	8.00	5.10	4.50	4.70	8.00

采用施工支洞、竖井、斜井等型式。对于特大型洞室，为了争取工期，可以设双向通道。

(4) 为了加快施工进度，要创造条件进行立体平行流水作业，即“立体多层次、平面多工序”的施工程序。

(5) 高边墙、大跨度洞室开挖，最关键的首先是顶拱层的开挖。顶拱层的开挖与跨度大小、地质条件紧密相关。一般情况下，如地质条件允许，先开挖中导洞，然后两侧跟进或待中导洞全部完成后再进行两侧扩大开挖，如蒲石河抽水蓄能电站、官地水电站、溪洛渡水电站、呼和浩特抽水蓄能电站、三峡水利枢纽地下电站、天荒坪抽水蓄能电站、桐柏抽水蓄能电站、二滩水电站、泰安抽水蓄能电站、广州抽水蓄能等工程。若围岩的稳定性较差，采用两侧导洞先掘进，并随即进行初期支护，中间岩柱起支撑作用，然后再进行中间预留岩柱的开挖与支护，如大朝山水电站、宜兴抽水蓄能电站、十三陵抽水蓄能电站、溧阳抽水蓄能电站等项目。但也有例外，如西龙池抽水蓄能电站工程厂房顶部围岩为薄层页岩，近似水平，稳定性很差，在对厂房顶部岩体进行预应力锚索等加固处理后，采取了先挖中间导洞，随即进行支护，再两侧扩大开挖跟进的施工方法，也取得了成功。

(6) 随着施工技术的不断发展，目前高边墙、大跨度洞室中、下层开挖一般均采用布置垂直爆破孔的方式，两侧预裂，中间梯段爆破。如溪洛渡水电站左、右岸导流洞和左、右岸地下厂房及主变室、向家坝水电站地下厂房及主变室、官地水电站地下厂房等，都是采用这种方法。该方法在溪洛渡水电站左、右岸导流洞等特大断面长隧洞中广泛应用，不但爆破质量好，而且预裂孔钻孔可滞后上层开挖一定距离后即开始，不占用直线工期，中、下层开挖一次爆破距离长，梯段爆破钻孔与装渣可平行作业，大大加快了施工进度，技术也更加成熟，已逐渐成为特大断面洞室中、下层开挖的首选方法。

2.3.7 特殊部位开挖往往是洞室开挖的重点和难点。

(1) 地下洞室群中，主厂房、主变压器室及尾水闸门室多数

呈平行布置，且距离较近。主厂房的上、下游边墙常有大小不同的洞室相交，如下游边墙上有母线洞、尾水洞在不同高程与厂房相交，上游边墙有高压管道与厂房相交，两端有通风洞、施工支洞与厂房相交。每一洞室的开挖均会不同程度地对周围岩体的稳定性产生影响，为此需采取一系列工程措施，防止围岩失稳，如：

①优化施工程序，尤其是主厂房、主变压器室、尾水闸门室三大洞室的开挖程序应认真拟定，必要时进行计算机仿真分析，以尽可能减少开挖后围岩松弛区的范围和深度。

②尽可能先开挖与主厂房相交的“小洞室”，即采用“小洞”进“大洞”的开挖方法，如上游高压管道先开挖到厂房上游边墙，然后再进行该部位的厂房开挖，并做好锚喷支护。

③当在进度安排上难以满足先开挖“小洞”，而必须先开挖主厂房后开挖“小洞”时，则“小洞”开挖要采取先导洞后扩大、先加固周边岩体然后再进洞开挖的方案，并采取浅孔小炮、多循环、弱爆破等措施，以减少对围岩的破坏。

④对平行洞室，如母线洞、高压支洞、尾水洞的开挖，在开挖程序上要交错进行，不宜齐头并进。

（2）岩壁（台）吊车梁层通常在地下厂房的第2层，特大型地下厂房（如溪洛渡左、右岸厂房等）在第3层，其开挖是高边墙、大跨度地下洞室开挖的一个关键问题，其中最重要的是保证岩壁（台）吊车梁的开挖成型和减少下层开挖爆破对岩壁（台）吊车梁的振动影响。根据各工程的实践经验，可以采取以下一些综合措施：

①采取预留保护层开挖，即中间岩体拉槽超前，两侧保护层跟进的方法。保护层的厚度以中间岩体爆破时产生的松动范围不超过保护层为原则，通常为2.5～5.0m。中间岩体采用潜孔钻垂直钻孔，分段爆破的方法。保护层开挖采取凿岩台车或手风钻水平造孔光面爆破的方法，也可以采用支架式潜孔钻垂直钻孔，光面爆破的方法。

②在进行岩壁（台）吊车梁混凝土浇筑前，先进行岩台下一层边墙或中部主爆区与保护层间的预裂。也可以先完成下一层的开挖，然后垫渣进行岩壁（台）吊车梁混凝土的施工。

③为了保证岩壁（台）吊车梁成型，可以在岩壁（台）吊车梁开挖前对岩台下拐点以下一定范围布置加固锚杆进行岩台下部的预加固。当岩体破碎时，可先进行固结灌浆，对围岩进行加固，然后再开挖。如宜兴抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁，在厂房第1层开挖后，对部分地段岩锚梁进行了预固结灌浆，岩台开挖前，在岩台下拐点处布置了一排加固锚杆。

④对岩壁（台）吊车梁开挖，需进行专门的钻爆设计和爆破试验，并进行爆破振动监测。爆破试验一般选在岩锚梁所在层厂房中部拉槽开挖时进行。

2.4 岩石掘进机开挖

2.4.1、2.4.2 采用岩石掘进机法开挖隧洞，对隧洞的地质参数定量化要求较高，掘进机性能的发挥在很大程度上依赖于工程地质条件和水文地质条件，并充分考虑场内、外道路运输、施工场地布置、材料供应、供电等外部施工条件、环境保护及水土保持等方面的要求。

2.4.3 掘进机施工运输方式的选择要能满足工期的要求，确保进度目标的实现。配备污染少、能耗小、效率高的施工机械，减少作业场所的环境污染，保证操作者的职业健康安全。

2.4.4 由于地质勘察的局限性，岩石掘进机在隧洞掘进过程中往往会遇到一些地质资料没有反映出来的不良地质情况，合理地选择掘进参数对加快掘进速度、保证施工进度十分有利。

2.4.5 岩石掘进机体积庞大，只能以散件集装箱的形式装运，其部（构）件种类、数量多，尽可能在洞外进行组装和调试。当必须在洞内进行组装及拆卸时，要根据岩石掘进机类型及组装、拆卸要求设置相应辅助洞室。

2.5 盾构掘进机开挖

2.5.2 采用盾构掘进机法施工时，通常需在盾构掘进的始端和终端设置工作井，按工作井的用途，分为盾构始发工作井和接收工作井。始发工作井内的设施应能满足盾构组装、调试及始发所需条件；接收工作井内的设施应能保证安全接收盾构，并能满足盾构检修、解体或整体移位的要求。

2.5.5 隧洞施工运输主要包括：渣土、管片以及各种机具机械设备、材料器材的运输、装卸。选用的运输设备应能满足隧洞断面尺寸、施工机具与材料的尺寸、重量、工期等方面的要求。

2.5.6 对于洞口段需要加固的土体，要根据工程现场条件，合理选择降水、堵漏等防止涌水、涌砂措施，或采用注浆、旋喷桩、搅拌桩、玻璃纤维桩、SMW 工法（劲性水泥土搅拌桩法）桩、冻结法或其他土体加固方案。洞口土体加固后进行效果检查，并满足设计要求。

2.6 顶 管 施 工

2.6.1 顶管施工方法的选择，要综合考虑管道所处土层性质、管径、地下水位、附近地上与地下建筑物、构筑物和各种设施等因素，并按下列规定执行：

（1）在黏性土或砂性土层，且无地下水影响时，一般采用手掘式或机械挖掘式顶管法；当土质为砂砾土时，可以采用具有支撑的工具管或注浆加固土层的措施。采用手掘式顶管时，需将地下水位降至管底以下不小于 0.5m 处，并应采取措施，防止其他水源进入顶管管道。

（2）在软土层且无障碍物的条件下，管顶以上土层较厚时，一般采用挤压式或网格式顶管法。

（3）在黏性土层中需要控制地面隆陷时，一般采用土压平衡顶管法。

（4）在粉砂土层中且需要控制地面隆陷时，一般采用加泥式

土压平衡或泥水平衡顶管法。

(5) 在顶进长度较短、管径小的金属管时，一般采用一次顶进的挤密土层顶管法。

2.6.3 采用顶管施工的每节管道长度应根据管径的大小、管材的情况分类确定，通常以 2.0～3.0m 为宜，有时也采用 1.0～1.25m 较短的管节。对于大直径的管道，应采用较长的管节，这样可相对减少管接头的次数，提高工效。通常情况下，采用的单根管节的长度一般不超过顶管机的机身长度。管材类型通常包括钢筋混凝土管、钢管和玻璃纤维增强塑料夹砂管等。

2.7 出渣运输

2.7.1 出渣运输方式分无轨运输、有轨运输和无轨装渣有轨运输等几种方式，一般根据隧洞断面大小、开挖工作面长度、施工设备的技术条件、工期要求等因素，经技术经济比较后确定。

2.7.2 较长的中、小型断面隧洞出渣，选择有轨运输是一种可靠和经济的运渣方式。它具有设备造价低，维修容易，对空气污染少，噪音小，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，特别适用于较长的中、小型断面隧洞工程。

(1) 电瓶车目前已有很大的牵引能力，是比较好的运输方式。

(2) 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，根据工期要求和断面大小，进行运输强度及技术经济比较后确定。

(3) 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。

(4) 小型断面洞室可以用单铲斗装岩机，大、中型断面洞室可以选用扒渣型装岩机，用梭车或槽式列车运渣。

2.7.3 随着装载机和自卸汽车运输能力的提高，无轨运输是一种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。

(1) 选择无轨运输方式，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。

(2) 出渣运输车辆型号要与出渣道路路面宽度相适应。

(3) 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，因此要做好道路设计，以保证出渣运输安全、高效。

(4) 大型地下洞室要充分利用空间和场地，合理选择配套的大型出渣设备，方便机械化流水作业，提高出渣效率。

2.7.4 斜井、竖井出渣运输主要有溜渣到井底、采用卷扬机有轨运输、起重提升设备吊罐出渣等几种方式，其中溜渣到井底是最安全、经济的方式，因此，在符合条件的情况下，应优先选用。

斜井、竖井出渣运输车辆运行速度不宜大于 2m/s。平洞有轨出渣车辆洞内运行速度为 6km/h，无轨出渣车辆洞内运行速度为 10km/h。

井架、起吊设备设计满足下列要求：井深不小于 40m 时，设吊罐导向装置；井深小于 40m，无导向设备时，吊罐升降速度不超过 0.7m/s；井深 40～100m，沿导向设备升降时，吊罐升降速度不超过 1.5m/s；井深大于 100m，沿导向设备升降时，吊罐升降速度不超过 3.0m/s。

由于斜井、竖井出渣安全问题十分突出，因此必须采取专项的安全措施。

3 不良地质条件部位的开挖与支护

3.1 一 般 规 定

3.1.1 不良地质条件在地下洞室开挖中常遇到的地质问题，也是地下洞室开挖过程中难以处理的问题，能否处理好不良地质条件，往往直接影响到工期、前期投入和运行安全。在地下洞室开挖中，常遇到塌方、涌水、岩爆、岩溶、膨胀性岩石、不稳定块体等都属不良地质条件。由于不良地质条件的力学性质不同，其力学属性也不同，为此，在施工开挖过程中认真分析研究不良地质条件，是非常重要的。针对不同性质的不良地质条件要采取针对性措施。

3.1.3 在开挖过程中不管什么不良地质条件，都要限制围岩变形的发展，其最有效的办法是短进尺、弱爆破、导洞先行、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。

3.2 开 挖

3.2.1 当地下洞室开挖过程中遇到岩溶时，确定与洞室位置关系后，首要的问题是查清岩溶的位置（溶洞位于隧洞上部、侧壁附近等）、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。对溶洞充填物清理及支护应进行专门研究。

3.2.2 在高地应力区洞室开挖的过程中，由于应力重新调整，地壳中初始应力突然释放，当释放的应力超过岩块的抗压强度后，则产生“岩爆”。高地应力和岩石完整、无水是发生岩爆的主要因素。在开挖过程中对岩爆的发生、发展、规模还不能做到

及时准确地判断，需要通过观察或仪器监测等方式摸清其发生的部位、时间、规模以及发生的规律，采取防治结合的办法处理。如映秀湾、渔子溪、天生桥二级、太平驿、锦屏等水电站的隧洞开挖时均出现了规模不同的岩爆。尤其是锦屏电站最大隧洞埋深2500m，无论是埋深还是地应力大小在世界上都是罕见的，属极高地应力，极强岩爆，对施工人员和机械施工带来极大的困难，工程中所采用的预应力锚杆或锚索、挂网结合喷纳米钢纤维混凝土，同时开挖掌子面迅速喷钢纤维混凝土等措施效果较好。

3.2.4 丰富的地下水不仅恶化了地质条件，而且也恶化了施工环境，有时甚至不能正常施工，因此地下水丰富地区，要根据工程地质与水文地质条件，采用排、堵、截、引的综合处理措施，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遭受破坏。对于地下水涌水量较大的地区，仅靠上述简单的措施是不够的。如国内锦屏水电站引水隧洞地下水极其丰富，最大涌水量达 3～7m^3/min，工程中为解决地下水专门布置了一条平行引水隧洞的排水洞。

3.2.5 采用预灌浆方法处理不良地质部位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，提高岩体强度等有较好的作用，从而使不良地质部位达到稳定状态，以防止坍塌事故发生。

3.2.6 地下洞室开挖过程中塌方是最常见的一种地质灾害，处理塌方经验不少，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。塌方处理的原则是：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

部位，治理塌方前应先治水。

3.3 支　　护

3.3.1 不良地质条件部位的地质条件更具有复杂性和多变性，若支护不及时极易发生塌方事故。因此，要根据不良地质条件的性质编制施工组织设计，以确保围岩稳定。

3.3.2 岩溶是碳酸盐地区的主要工程地质问题之一，岩溶问题会给施工带来极大的困难。天生桥二级电站引水洞施工时曾遇到大溶洞，发生了塌方，同时还遇到地下水丰富问题。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、预留土核、环向开挖、拱架支撑及时跟进、喷混凝土支护，在特别差的部位还布置了超前锚杆，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，再安装拱架支撑等方法，效果很好。

3.3.3 在高地应力区，围岩的破坏形式为突发性并呈片状剥落。防止这种破坏形式的有效方法除减缓围岩应力释放外，以短、密型锚杆加高强度喷射混凝土支护，但在极高地应力区采用预应力锚杆、纳米钢纤维混凝土效果比较好，如锦屏电站在极高地应力区采用了这种方法。

3.3.4 在工程开挖中常遇到土层、流沙等不良地质条件，通常采用封堵、灌浆等方式效果较好。如大伙房水库施工中，洞内与地表水联系密切，洞内发生沿断层流沙，严重时突泥、突水，后采用灌浆处理，效果较好。

3.3.6 在膨胀性岩体中开挖时，围岩膨胀变形量较大，要求支护措施能够适应这种变形。如陶思隧洞最大变形量很大，故利用可伸缩的钢拱架结合喷混凝土支护，保证了围岩稳定。我国顶山隧洞部分洞段分布着膨胀性泥岩，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。

3.3.7 在地下洞室开挖过程中，结构面构成的不利组合体发生

不同规模的塌方是一种常见的地质现象，按塌方的部位分类有顶拱塌方、边顶拱塌方、局部掉块三种。塌方的类型有平缓岩层与高倾角裂隙组合、大断层破碎带、软松相间直立地层、水平地层、松散体、两组结构面顶拱交汇、多组断裂组合、多组结构面组合、局部掉块和边墙两组裂隙组合等塌方类型。因此，首先查明各种结构面的组合关系，分析可能塌方的类型和部位，施工中采用挂网喷混凝土、锚杆、预应力锚杆、锚索等加固措施后再开挖或边锚、边开挖是最有效的方法。

4 临时支护

4.1 一般规定

4.1.1 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，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。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。现代支护理论是支护与围岩共同作用。围岩是承载主体，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。支护型式要能适应围岩的变形要求，除特殊地段外，优先采用锚喷支护形式，包括纤维喷射混凝土和设置钢筋格构梁加强的喷锚支护，还包括预应力锚杆和预应力锚索等。

临时支护的结构设计可采用工程类比的方法，目前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）、《公路隧道设计规范》（JTG D70）和《锚杆喷射混凝土支护技术规范》（GB 50086）的有关规定进行。

4.1.2 支护和开挖的间隔时间、施工顺序及相隔距离，根据地质条件、爆破参数、支护类型等因素确定，且在围岩出现有害松弛变形之前支护完毕。稳定性差的围岩，需支护紧跟开挖工作面或爆破后立即支护顶拱。

4.1.3 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。一般情况下可以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。由于喷锚支护是不可拆除的，所以事实上已成为永久衬砌的一部分。在有关设计荷载中规定“采取了支护和加固措施的围岩，根据其稳定情况，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。

4.2 锚喷支护

4.2.1 锚喷支护在机理和工艺上具有独特的工作特性，它可以及时稳定和加固围岩，从而发挥围岩的承载能力。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，优先选用。

喷锚支护设计的主要依据是洞室断面尺寸和围岩分类。围岩分类是工程地质分析中的一种重要的综合性评价方法。近年来，国内地下工程围岩分类的研究和运用有了很大的进展，提出了水利水电地下工程围岩分类。其初步围岩分类可以应用于规划和预可行性研究阶段，详细围岩分类可以用于可行性研究和技术设计阶段。在水利水电地下工程中，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，开挖跨度大时可以采用喷锚支护，Ⅲ类以下围岩需要支护。

对国外的围岩分类法，经实际应用，认为挪威的 Q 系统分类法是一种比较方便也较切合实际的方法，自鲁布革水电站的地下工程设计中应用后，在国内已较多的采用。

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、挂钢筋网联合使用。锚喷支护参数可参照 GB 50086 确定，也可参照 SL 377 确定。其中钢纤维喷射混凝土，可以提高抗压强度、抗拉强度、抗弯强度，由于钢纤维喷混凝土的韧性，还可以提高抗冲击和抗磨损性能，而且，目前国内已有生产，故推荐推广应用。

4.3 其他临时支护

4.3.1 拱架支撑系指钢支撑、木支撑和格栅支撑等，拱架支撑宜选用钢支撑，常用钢支撑有：钢筋格栅钢架、工字形型钢钢架、U形型钢钢架和H形型钢钢架。钢架支撑主筋宜采用HRB335钢、HRB400钢，辅筋宜采用HPB235钢。型钢钢架支撑宜采用工字形型钢、U形型钢和H形型钢钢架。拱架支撑的作用，主要是加强喷锚支护中喷层的刚度和强度，以及支承不稳定地段开挖后产生的早期荷载，是控制围岩变形与松弛所采取的措施。

钢筋格栅钢架：可按实际需要的不同刚度，制成矩形、梯形、三角形等几种截面，截面高度可根据设计要求选定，一般为120～200mm。格栅主钢筋直径一般选用18～25mm；联系钢筋直径可用10～14mm，分节段焊接，用拼接板及螺栓连接而成。格栅钢架可现场加工制作，不需要特殊设备，安装方便，能与喷混凝土紧密结合，形成有一定刚度与强度的钢拱肋支护，用钢量比型钢钢架要省，优先选用钢筋格栅钢架。

工字形型钢钢架：常用的型号有Ⅰ12、Ⅰ16、Ⅰ18、Ⅰ20几种，刚度较大，具有独立承载能力，根据对刚度的要求选用，使用冷弯机加工成型。

U形型钢钢架：可不需要连接钢板，直接焊接或用螺栓连接，并可进行小范围拱幅调节，有一定的灵活性。

采用钢架支撑时按下列规定执行：

(1) 钢架支撑必须有足够的强度和一定的刚度，能够承受施工期间可能出现的荷载；能承受1.0～3.0m松动岩柱荷载，同时能保证自身的稳定。

(2) 钢架的纵向间距可根据围岩级别、毛洞宽度和开挖进尺确定，并通过施工监控量测进行调整。间距一般在0.5～1.5m之间，间距太小，喷混凝土回弹大，难以保证钢架背后的密实；间距太大，由于钢架支护范围有限，两榀之间的岩块容易坍塌，

支护作用减弱。为了保证锚杆和钢架不重叠，各自发挥作用，钢架与锚杆的纵向间距宜相同，便于相间布置。

(3) 每个护段的钢架支护数量应不少于3榀，并要求相邻两榀钢架之间用直径18～22mm的钢筋连接，连接筋的间距应不大于1.0m，并在钢架支撑内、外缘交错布置；大型断面洞室喷混凝土厚度超过15cm时，也可用工字形型钢连接，刚性连接是为了保证钢架的侧向稳定。

(4) 为架立方便，每榀钢架可分为3～6节段制作，使用等强度的拼接板及螺栓连接，分节段长度应与分部开挖方法适应。

(5) 钢架支护贴岩壁一侧，由于岩面凸凹不平，喷混凝土保护层厚度不宜小于40mm。临空一侧保护层密实度较好，厚度大于20mm即可。

4.3.2 拱架支撑与锚喷联合支护广泛应用于软弱、破碎的断层带加固，这种支护方式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。

4.3.3 管棚钢管施工技术复杂，造价较高，只有在特殊条件下才采用。其施工精度要求高，速度较慢，纵向搭接设置第二排管棚的难度较大，在特殊地段，通过长度小于50m的不良地层时可以采用。管棚的施工多用钻机引孔，钻孔时有设套管钻孔和不设套管钻孔两种，设置套管钻孔的精度较高。北京地铁西单车站的管棚就是采用钻机设套管进行的，每次钻孔深达20m，端头位置偏差在30cm以内。管棚放入钻孔后应进行注浆，防止地层松动。直接将管棚打入地层的方法多用在处理塌方及山岭隧洞通过松软地层等要求精度不高地段，因导向很难控制，多配合注浆进行加固。

管棚支护按下列要求执行，可参考《铁路隧道施工规范》(TB 10204—2002)的规定：

(1) 管棚用钢管直径一般为70～127mm，钢管中心间距一般为管径的2～3倍。

(2) 管棚长度根据地层情况选用，一般小于10m。

(3) 纵向两组管棚的搭接长度一般小于3m。

5 衬砌施工

5.1 衬砌施工方案选择

5.1.1 本条强调工程质量、施工安全、环境保护和劳动者身体健康的重要性。

1 保证工程质量与施工安全是选择施工方案的一项最基本原则，特予以强调。

2 施工方案有利于环境保护和劳动者身体健康是非常重要的。地下工程受施工环境制约，衬砌方案对减少污染和保护劳动者身体健康方面的要求更高，选择衬砌施工方案和施工设备时，尽可能采取措施减少污染源。

5.1.2 本条强调降低成本和减少附加量。

(1) 配套合理，综合生产效率高，适应工程所在地的施工条件，并满足施工总进度的要求，是对施工方案和衬砌设备的基本要求。

(2) 降低施工成本，有利于减少施工临时工程量及施工附加量，经济合理地实现水利水电地下工程的总体设计方案，是选择施工方案的重要原则。

(3) 根据《水利工程设计概（估）算编制规定》(2002年颁布)、有关资料，施工临时工程是指为辅助主体工程施工所必需修建的生产和生活用临时性工程，其组成内容包括导流工程、施工交通工程、施工场外供电工程、施工房屋建筑工程、其他施工临时工程等；施工附加量是指为满足某项主体工程施工需要而在主体设计工程量基础上额外增加的工程量，如：小断面圆形隧洞为满足施工交通需要而扩挖下部所增加的工程量，隧洞工程为满足施工交通、爆破的需要而设置洞内错车道、避炮洞等所增加的工程量，为固定钢筋网的需要而增加的固定筋工程量等。

5.2 混凝土衬砌

5.2.2 本条提出地下工程混凝土衬砌模板选用的原则。

(1) 地下工程混凝土衬砌模板要适应地下洞室的下列特点：

①洞室多为规则断面。

②模板绝大部分为单面结构（另一面为岩体）。

③开挖时多出现超挖，计算模板荷载时要计入超挖影响。

④推荐采用移动式模板。

(2) 目前我国混凝土结构模板材料已向多样化发展，除钢材、木材外，主要还有胶合板、塑料板、树脂板、预应力混凝土薄板等。模板以尽量少用木材为原则。

(3) 与一般常规模板相比较，滑模具有下列优点：

①可节约投资 60%～70%。

②工期较短，仅为常规模板的 1/4～1/2。

③劳动力可减少 10%～50%。

④混凝土表面光洁度有明显提高。

(4) 有条件采用滑模部位，一般选用滑模。滑模提升（拖动）设备可采用液压设备，也可采用卷扬机或其他类型的设备。

(5) 国内水电工程在隧洞底拱及大于 45°斜井混凝土施工采用拉模已取得了成功，如白山水电站在 2 号、3 号引水斜洞（直径达到 7.5m）中采用全断面拉模衬砌工艺的成功，进一步证明了拉模的优越性。采用拉模不仅可以缩短工期（白山水电站 2 号、3 号引水斜洞各用了 1 个月，而 1 号引水斜洞采用拉模逐段衬砌方法，仅用了 6 个月），而且有明显的经济效益。

5.2.3 本条阐述了钢模台车的选用原则和拆模时间的要求。

(1) 钢模台车主要有两种类型：一种是钢模单独承受施工荷载，台车仅用来运输、安装和拆除模板；另一种是钢模与台车成一整体，共同承受荷载。我国水工隧洞用的钢模台车绝大部分系第一种类型，且此类型有利于流水作业、加快衬砌进度，故予以推荐。

(2) 若采用钢模台车联合作业，台车下部运输通道应能通过拆卸后的钢模、混凝土泵等设备，对大断面隧洞还应能通过出渣和混凝土运输设备。

(3) 圆形隧洞的全断面衬砌，自鲁布革水电站圆形引水隧洞全断面一次衬砌采用针梁式钢模以后，已先后在广州抽水蓄能电站、天生桥水电站二级、隔河岩水电站、密云水电站等多个工程中应用。针梁式钢模使用于圆形全断面一次衬砌，具有适应面广(直径 3.5～9.5m 均可适用)、立模快、分缝少、施工速度快等特点，故推荐使用针梁式钢模台车。

(4) 进行地下工程施工组织设计时，一般难以获得混凝土试件的强度资料，因此拆模时间可按混凝土浇筑后 24～72h 拆模考虑，或根据工程类比法确定。渔子溪水电站引水隧洞（圆形断面、内径 5.0m）浇筑混凝土 36～72h 后拆模；映秀湾水电站引水隧洞（圆形断面、内径 8.0m)，衬砌 48～72h 后拆模。国外拆模时间较短，如美国混凝土学会建议：最短的拆模时间根据实践经验和混凝土试件强度确定，对于外露的混凝土面最短拆模时间不应小于 12h，施工缝不应短于 8h。总之，拆模时间根据混凝土强度增长速度、洞室形状、跨度及外部荷载等因素确定。

《水电水利工程模板施工规范》(DL/T 5110—2000) 中关于钢模台车拆模时混凝土强度的规定：

①直立面混凝土的强度不应小于 0.8MPa。

②当围岩稳定、坚硬时，在拆模时混凝土能承受自重，并且表面和棱角不被破坏。洞径不大于 10m 的隧洞顶拱混凝土强度可按照达到 5.0MPa 控制；洞径大于 10m 的隧洞顶拱混凝土需要达到的强度，要经过专门论证。

③当隧洞混凝土衬砌结构承受围岩压力时，需经过计算和试验，确定混凝土需要达到的强度。

5.2.4 选用拉模按下列规定执行：

1 拉模速度和滑模滑升速度与混凝土的早期强度增长速度相适应，并符合有关拆模时混凝土强度要求的规定；混凝土的浇

筑强度满足拉模速度和滑模滑升速度的要求。

2 进行施工组织设计时，拉模速度和滑模滑升速度可以根据工程类比法确定。

5.2.5 平洞混凝土衬砌按下列要求执行：

（1）马蹄形断面平洞混凝土衬砌施工中，有时为了适应模板台车和模板尺寸、方便支模和拆模，保证衬砌施工质量，或为了满足边墙衬砌工作面排水的需要，边墙衬砌前可以先在边墙底部浇筑“矮边墙”，“矮边墙”一般与底板（或仰拱）一次浇筑而成，并预埋接茬钢筋和止水。“矮边墙”高度可以采用30～50cm。

（2）《水电工程施工组织设计规范》（DL/T 5397—2007）规定：平洞混凝土衬砌分段长度宜为6～15m。

5.2.8 低温季节进行混凝土衬砌按下列要求执行：

（1）地下工程特别是长大深埋洞室，洞室内气温受季节和外界气温影响相对较小，根据施工总进度要求往往安排在低温季节进行混凝土衬砌施工，但注意采取保温防冻措施，特别是在寒冷地区，需考虑下列因素：

①浇筑仓面往往采取简单措施或不专门采取措施即可满足要求，但特别注意混凝土拌和（包括原材料）、运输环节。

②低温季节混凝土衬砌施工是否确系必要，是否经济合理。

③由此增加的措施不宜过于复杂，施工辅助工程量较小。

④寒冷地区低温季节混凝土衬砌施工部位不宜过多，浇筑强度不宜过高。

⑤尽量避开最冷月份施工。

（2）寒冷地区低温季节混凝土衬砌施工一般需要专门论证。

5.3 压力钢管衬砌

5.3.3 本条提出了下平洞压力钢管一些常用的运输通道，根据各个工程现场实际情况和可能的运输通道综合考虑选择运输通道方案。

（1）地面厂房工程下平洞压力钢管最常用的运输通道是自厂房基坑内经压力管道出口运输至压力管道下平洞段。当下平洞较长时，由斜井、竖井、或由下平洞施工支洞运输下平洞的部分压力钢管，可以有效减少对厂房施工的干扰、有利于缩短或保证发电引水系统工期。

（2）不论是地面厂房工程还是地下厂房工程，当其引水系统下平洞段上游的斜井或竖井设有钢管时，斜井或竖井包括其转弯部位的形状和尺寸，本身就需满足其自身钢管运输的要求，一般情况下也可满足下平洞钢管运输的要求，斜井或竖井可以考虑作为下平洞钢管运输的通道。

（3）地下厂房工程受施工通道条件制约，下平洞压力钢管运输通道方案应仔细研究。受运输通道条件制约，地下厂房工程下平洞压力钢管运输，可以采用运至主厂房安装间后再采用厂房内桥机或其他起吊设备吊转，运至压力管道下平洞段的方案，这种方案在地面厂房工程中较少采用。

（4）地下厂房工程中，当压力管道下平洞上游的斜井或竖井不设钢管，仅在下平洞段设有钢管时，下平洞上游的斜井或竖井尤其是其转弯部位的形状和尺寸往往不能满足钢管运输的要求，为了少占用交通洞和安装间、减少对地下厂房施工的干扰，有时会考虑利用压力管道运输下平洞钢管，此时需对压力管道中影响钢管运输的转弯等部位局部扩大。但为了减少施工附加量，可以只对一条压力管道局部扩大，将此条压力管道作为每条下平洞钢管运输的通道。若钢管由上游经此条压力管道运输至下平洞，有多条压力管道时其他各条下平洞的钢管可由此处再经压力管道出口转运，此时需注意，作为下平洞钢管运输通道的这条压力管道的下平洞钢管应最后安装，这种方案在地面厂房工程中较少采用。

5.3.6 压力钢管安装通常在工地加工厂制作成管节，在运输吊装条件允许时采用大节安装，目的在于减少现场焊接缝数量，以加快施工进度。

5.3.9 由于岔管形状不规则、尺寸大等原因，制作、运输、安装技术要求高、难度大，要仔细研究岔管运输方案。

5.3.10 钢管安装包括运输、就位、焊接、浇筑混凝土、灌浆等工序，其中任何一道工序都有可能使钢管产生变形时，都要设钢管临时内支撑，以免产生变形。

5.4 管片衬砌

5.4.2 管片结构设计按下列要求执行：

(1) 本标准中的管片衬砌主要是指钢筋混凝土预制管片衬砌，铸铁管片、钢管片、复合管片等其他型式管片的制造、运输、安装等可参照执行。预制钢筋混凝土管片衬砌方案通常仅适用于无压隧洞。

(2) 底部管片一般设置底座。管片参数根据受力条件、费用、洞径大小、安装精度、制造能力、运输和安装设备能力、安装速度、掘进机参数等因素综合确定。管片设计参数主要包括：

①管片形状：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，进行技术论证后决定。

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，且与掘进机推进缸的冲程长度相适应。可取 1.2～2.0m。

③管片厚度：同一台掘进机使用的管片尺寸需相同，管片厚度和含筋量根据地质条件、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多数是开敞的，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，通常底管片设有高约 20～75mm、边长 300～600mm 的四个正方形或长方形底座。

5.4.3 管片生产一般采用工厂化生产，蒸汽养护，以满足快速掘进的需要。钢筋混凝土管片预制误差要满足设计要求和相关规范规定。钢筋混凝土管片制作要与隧洞开挖和衬砌的进度一致。管片堆放场最少要能存放满足 10d 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。

5.5 混凝土运输

5.5.2 本条强调混凝土运输应考虑避免的因素：

(1) 混凝土运输过程中，分离、漏浆、严重泌水、过多温度回升和坍落度损失都将对混凝土施工质量带来不同程度的影响，都需予以避免。

(2) 为保证混凝土运输质量，混凝土在运输过程中，尽量缩短运输时间和减少转运次数。

5.5.3 本条规定了混凝土运输方案中混凝土运输设备及运输能力配备的基本原则。对设备资源优化配置是保证混凝土施工质量和速度的重要因素，因此混凝土拌和、运输、浇筑能力三者之间必须配套，充分发挥整个系统施工机械的设备效率。

5.5.4 根据施工实践，为确保混凝土浇筑质量，对混凝土下料高度要作严格限制。设计时下料高度控制指标可参照《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144) 有关规定执行。

5.5.5 本条规定了混凝土运输设备选择的原则，但也存在一些问题。

(1) 混凝土直接从带式输送机入仓，经国内工程实践证明有下列问题：

①混凝土分离。

②料堆集中。

③砂浆损失多。据丹江口工程资料，滑槽、储料斗等粘附造成的砂浆损失为 1.5%～2.5%，带式输送机运输损失为 0.63%～2.14%（未计多台带式输送机转运）。

(2) 汽车直接入仓浇筑的主要问题是：

①入仓前很难保证将车轮冲洗干净。

②倒退入仓无法铺砂浆。葛洲坝一期工程有严重教训，二期工程又出现相同问题，因而禁止使用汽车直接入仓。汽车运送混凝土道路应平整，以免过分震动而使混凝土液化泌水和骨料下沉分离。

(3) 当混凝土运距较远时，推荐采用混凝土搅拌运输车，以保证混凝土在长距离运输过程中不初凝或失去塑性，并在运输过程中不致发生分离、严重泌水和坍落度损失。

5.5.7 混凝土水平运输设备通常可采用搅拌运输车、矿车、侧卸车、料罐车、专用车辆、各类皮带机（包括塔带机、胎带机）等。

5.5.8 泵送混凝土入仓方式在地下工程中现已普遍采用。

6 灌浆施工

6.3 灌浆施工

6.3.1 地下工程中的灌浆，包括帷幕灌浆、回填灌浆、固结灌浆和接触灌浆。蒲石河抽水蓄能电站引水高压钢筋混凝土岔管尾部设计了高压环向帷幕灌浆。高压环向帷幕灌浆在固结灌浆结束7d后进行。帷幕灌浆环内不分序，环间分Ⅰ、Ⅱ序，环内加密；在注入量较小地段，同一环内的灌浆孔可并联灌浆，孔数不多于2个，孔位一般保持对称；Ⅰ序孔待凝72h后方可钻、灌Ⅱ序孔。每孔应“由浅入深”分段灌浆。若采用孔口循环灌浆方式，则每孔分三段灌浆，灌浆塞一般布设在混凝土衬砌内（灌浆塞位置可根据灌浆试验成果调整），第一段孔深为入岩2.0m，第二段孔深为入岩7.0m，第三段为设计孔深，三段灌浆压力均为5MPa。若采用孔内循环的灌浆方式，则可以全孔分二段灌浆，灌浆塞一般布设在混凝土衬砌内（灌浆塞位置可根据灌浆试验成果调整），第一段孔深为入岩6.0m，第二段为设计孔深，第三段灌浆压力均为5MPa。

在地下水比较丰富地区的水工隧洞，在回填灌浆前，要先行安排超前灌浆和堵水灌浆的施工。雅砻江锦屏二级水电站东端3号、4号引水隧洞工程钻孔灌浆施工的顺序为：超前灌浆→堵水灌浆→衬砌回填灌浆→破碎围岩固结灌浆和防渗固结灌浆。灌浆按环内分序、环间加密的原则进行。

6.3.10 蒲石河抽水蓄能电站两条引水隧洞斜洞段（高程186.00m以下）、下平段及引水岔管均相距较近，其高压灌浆同时进行，当安排确有困难时，一洞高压灌浆；另一洞必须完成混凝土衬砌浇筑及回填灌浆，且回填灌浆龄期不少于7d。

7 施工总布置

7.1 一般规定

7.1.1 地下工程施工总布置要结合整个工程的施工总布置统筹考虑，做到局部服从整体。

7.1.3 本条强调场内施工交通要充分考虑地下工程施工支洞的布置条件，以满足地下工程施工交通的要求。

7.1.4 本条要求地下工程施工总布置要满足环境保护、水土保持与节能降耗和卫生防疫要求。

7.2 施工布置

7.2.2 许多工程施工场地布置非常困难，采取了紧凑型布置，采用台阶式，部分施工附属设施及车间放在地下。当工程所在地附近场地狭窄、施工布置困难时，要采取相应措施获得满足施工总布置要求的场地。在一般情况下，施工场地不宜布置在坝址上游水库区，如果场地不足时，则应研究利用水库区的可能性。利用水库区时，要分析库水位变化情况，及水库塌岸的影响，如果是松软地基，还要考虑浸没的影响，避免因考虑不周而拆迁临建工程。

利用弃渣场作为施工场地时，特别重视解决导流、洪水带来的冲刷影响，同时考虑主河道及两岸沟谷洪水顶冲的影响，做好防护设施。当开挖渣料不足，采用堤坝围护时，应妥善解决场地防洪和排水问题。

对原河道进行截弯取直获得施工场地时，因工程量往往非常大，需与其他方案进行比较，论证其经济上的合理性。

7.2.3 如在正文 7.2.3 条所列地区布置临时设施，或将给工程施工带来危害，或为国家法律（如环境保护法）所不允许，要避开在这类地区设置临建工程。

7.2.4 工程的施工场地排水总量由地表雨水、居民区生活污水、施工废水、机械设备冲洗水等组成，并考虑场地内的冲沟流量，分部位计算排水量。根据地质情况，选定排水建筑物的型式、断面和尺寸。并根据工程所处位置的地形、水文、气象因素及环境保护要求选择排水方式，出水口最好利用沟谷自然排入河道，并结合岸边防冲加固措施，选定出水口型式。

有些地区降雨大、历时长，设计中一般避免冲沟水流进入施工基坑和主要施工场地，以避免山洪影响生产和职工生活。

7.2.5 本条强调了对生活用水的质量要求，为避免生活用水受到生产用水的可能污染，两系统一般分开设置。生活用水的质量关系到工程建设人员的身体健康，要采取措施确保生活用水的质量达到国家规定标准。

7.3 施工支洞布置

7.3.1 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，因此施工支洞设置需经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，出渣方面也存在着经济运距问题。现在一般施工支洞的间距为 3km，随着施工技术水平的提高，施工支洞的间距会逐步加大。

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

7.3.2 施工支洞要充分考虑“一洞多用”的可行性。

7.3.3 施工支洞布置主要根据工程布置和场地条件确定。

7.3.4 一般情况下，施工支洞的宽度以主洞施工的运渣设备的宽度为主要控制条件，同时还取决于运输材料（如压力钢管等）、设备（如蝶阀、闸门等）的运输尺寸和运输转弯要求以及单双向车道布置的条件，并留有一定的安全裕度。施工支洞的高度则以支洞本身开挖时，装渣机械的装渣工况时的高度要求为主要因

素，当施工支洞作为大件设备运输通道时，还需考虑大件运输的要求。施工支洞的断面尺寸还受各种管线布置的要求控制。采用单车道时，为了加快施工进度，可考虑设置错车道。

7.3.5 控制支洞与主洞的交角，有利于保证交叉口处围岩的稳定。

7.3.6 因竖井和斜井吊运作业不连续，且吊运能力低，与平洞施工不配套以至影响平洞的施工进度，因此不宜采用竖井或斜井作施工支洞。本条强调采用竖井和斜井作为施工支洞时的原则。

7.3.7 支洞纵坡坡度不小于0.3%主要是从利于自流排水因素考虑。

7.3.8 主厂房顶拱施工支洞的布置要优先考虑与厂房永久通风洞结合的可能性，其断面按施工要求确定。从施工条件分析，斜井（竖井）的长度（高度）与采用的施工机械、施工工期及出渣条件等有关。若用卷扬机提升（下放）料物，斜井（竖井）的长度（高度）结合卷扬机的可用容绳量安排；如用大直径钻机，反井钻机或爬罐开挖，则按其允许的工作高度（长度）布置。

8 施 工 进 度

8.2 施 工 进 度 控 制

8.2.2 岩石的硬度级别为控制掘进机掘进速度的主要参数，进行进度计划安排时可咨询设备厂家或参考类似工程经验拟定。掘进机每日安排 4～6h 强制养护时间。

9 通风与防尘

9.1 卫生标准

9.1.1 表 9.1.1 中的数据引自《水工建筑物地下开挖工程施工规范》(SL 378—2007)。

9.1.2 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，洞内气候条件恶劣，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 15～20℃，当洞内温度超过 25℃时，对流和辐射大为减少，因此洞内平均温度不应超过 28℃。洞内温度可按表 9.1.2 温度与风速的关系进行调节。

9.2 通　　风

9.2.1 本条列出计算通风量的三种方法，实践证明这三种计算方法均是可行的，计算后以最大值为设计通风量。高海拔和高寒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。爆破散烟及洞内使用柴油机械的高程修正系数是根据实践经验并引用《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。某隧洞现场实测资料：海拔每升高 1000m，柴油机功率下降 9%～13.7%，可供参考。

9.2.3 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，要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，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，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。风管式通风又有压入式、抽出式和混合式等。通风方式可以根据洞井布置特点、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。

9.3 防尘、防辐射、防有害气体

9.3.1 地下洞室开挖中，会有大量岩尘产生。据资料介绍，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0.1～5μm的粉尘能直接进入人体肺部，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；同时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。此外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5μm的粉尘要靠加强通风，不断置换洞内空气，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，可以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，故优先选用。若采用干喷法时，加入黏稠型速凝剂（如zc—2型黏稠型速凝剂等）或其他外加剂，以降低粉尘浓度，采取这些措施的同时，还要做好个人防护。

9.3.2 水工隧洞中辐射危害与地层岩性构造特征和地下水活动紧密相关，主要集中在辐射元素含量较高的花岗岩地区，其次是变质岩和泥岩地区。隧洞中的辐射危害主要是由氡的聚积变化引起，氡及其子体易溶于水，深层地下水通过断层构造裂隙密集带将岩石深部氡带出，氡子体衰变时放出α射线，不仅对人体造成

伤害，还会对地下水造成污染。施工期的防护措施主要是采取通风降氡、降尘及加强个体防护等，保证施工人员工作环境安全。对花岗岩隧洞中的氡浓度测试结果表明，洞口空气中的氡浓度正常，随着洞挖延伸，通风不畅时，氡浓度逐渐升高，因此通风是防氡降氡最好的措施。通过不断向工作面供给足够数量的新鲜空气，稀释、抑制和排除氡、氡子体和粉尘及其他有害物质，调节工作面空气条件，保证工作面有害物质不超过浓度限值；同时，缩短洞内施工人员班次作业时间，采取多循环作业方式，缩短个体受辐射时间；并要求施工人员不在洞内饮水、就餐、吸烟，出洞后及时清洗。在隧洞工程施工中，还要同时监测隧洞中氡浓度的变化，如果工作面氡浓度超过 1.1Bq/L，必须用氡浓度不大于 0.11Bq/L 的进口风通风 15min 后，施工人员才能进入工作，且作业期间不得停风。此外，降尘可以降低核素的浓度，因此在花岗岩隧洞施工中还可采取湿式降尘措施。爆破后的渣尘及炮烟的浓度都很高，除立即通风排除烟尘外，同时采用风水喷雾器迎着炮烟抛掷方向喷射，形成水雾带，有效地降尘和控制渣尘扩散。花岗岩隧洞中，花岗岩岩体是辐射核素的源头，其孔隙、裂隙、节理、断层又是氡气汇入洞内的通道，辐射核素通过运移通道及地下水体不断向地下空间或地面汇集从而形成辐射危害。因此，通常采用封堵或隔离的措施可从根本上切断其通道，在水工隧洞中实施的帷幕灌浆、锚喷混凝土、混凝土衬砌等，都能有效地减少围岩中辐射影响。花岗岩隧洞掘进过程产生的弃渣应分别集中堆放，最好运往距生活区和水源较远的、不易被雨水冲刷和不污染水源的地方，覆盖黏土植被和稳定化（如建挡土墙）处理措施，以防止风化和雨水淋滤造成环境的二次污染。实验证明在 20～40cm 厚黏土上栽种草皮等植被，可使氡析出率降低 90%以上。

9.3.3 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，扩散到隧洞内，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，要严格按照《煤矿安全规程》规定的防瓦斯安全措施。

10 辅助工程

10.1 供　风

10.1.2 供风站的设备根据工程需要配置，并按下列要求执行：

（1）当与洞口明挖工程使用统一的供风系统时，按总体规划确定。

（2）当使用单独的空压机站时，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）空压机站备用容量，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）高寒缺氧地区适当增加空压机站的容量。

对于高寒缺氧地区，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，要增加空压机站的容量。如羊卓雍湖电站资料显示，其容量的影响系数为1.7左右。

10.1.3 当地下洞室群各供风站具备相互连通的条件时，要考虑将各供风站联通，形成统一的供风系统，互为补充，互为备用，不但可以提高供风系统的效率、可靠性，而且还可以节省空压机数量。

在地下洞室群施工的前期，往往由于各洞口相距较远，很难相互联通形成供风网络，只能在各个洞口适当位置就近布置。在施工的中、后期，相关洞室互相贯通后，则可充分利用洞内的条件，将各供风站联通，形成统一的供风系统，联合供风。

10.1.5 不同类型的空压机太多，不利于设备检修和维护。

10.1.6 针对不同的工程，供风站布置有所不同，要因地制宜。另外，供风站的布置往往还要考虑安全、文明施工、环境保护等方面的因素影响。

10.1.8 地下工程用风部位一般接近开挖面，因爆破影响要频繁拆移供风管路，接近用风设备用橡胶软管连接，便于拆卸。

10.1.9 尽量采用大管径高压供风，以提高工作效率，施工现场常用的钻孔设备工作压力为 0.5～0.6MPa。风管布置应“短、平、直”。

10.2 供水与排水

10.2.1 地下工程供水需从工程主供水系统接支管至洞内工作面，当施工支洞洞口较多时，分别从不同的洞口接入；当单个支洞洞内工作面较多时，主供水管路供水量应满足所有工作面的供水需要，单个工作面需水量按最大用水工序计算。当洞内地下渗水水质满足用水标准时，可适当考虑循环利用。

地下工程供水用水量根据实际施工设备的具体情况确定。高寒缺氧地区，选用抽水机械的扬程，要比设计值适当提高。

工作面的水压需满足施工机械的要求，且不宜小于 0.3MPa。若水压不够时，可设加压装置。

10.2.2 由于受施工影响以及围岩特性的不同，地下工程的排水中不同程度含有水泥浆液、软化的泥岩形成的泥浆、炸药爆破产生的有毒化学物质等。因此，每个工程应在洞外适当位置设置污水处理系统，污水处理系统的规模应满足净化需要。同时各类浆液在排放过程中均有不同程度的沉淀，因此应不定期的进行管路清理，在计算管道直径时还应考虑一定的富裕量。

应急预案可考虑如下措施：

(1) 备用足够的水泵，增加排水量，排水泵的容量要比最大涌水量大 30%～50%，使用一台水泵排水时，用 100%的备用量，使用两台水泵排水时，要有不小于 50%的备用量，重要部位需设备用电源。

(2) 可将供水、供风管路洞内、洞外接头拆开，接入排水系统中，作为应急排水管路。

10.3 供电与照明

10.3.1 洞外高压线路应满足施工供电总体布置的要求，变压站

的容量根据施工总用电量确定。为洞内供电的变压器站位置选定时按下列要求执行：

（1）在不受爆破影响及施工干扰时，一般设在洞口外附近。

（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，以利于管理。

（3）隧洞较长或施工机械用电需要变压器进洞时，优先选用箱式变压器，并按有关规程规定设置变压器室，变压器的高压电源应由电缆引入洞内，电缆应定期进行外观检查和耐压试验。线路末端的电压降不应超过5%。

掘进机和其他高压设备的供电电压，按设备要求确定。高寒缺氧地区施工变电站电气设备，要选用提高一个高压等级的设备，并选用高原型产品。

10.3.3 目前地下工程施工洞内供电一般采用高压进洞，供电线路采用带钢铠的高压电缆，沿隧洞洞壁挂设，离地高度要同时满足安全文明施工需求。

11 施工期安全监测

11.1 一 般 规 定

11.1.1 施工期安全监测方案的具体确定与洞室规模、地质条件、施工方法等有关，综合考虑，如：由简单的地质条件变为复杂的地质条件时，原设计的监测内容和数量不足监控围岩安全稳定状态，势必需要进行调整和增加。

11.1.2 地下洞室施工，安全问题较为突出，具体反映在围岩稳定和结构安全上，而监测仪器的布置是有限的，因此应统筹兼顾，重点突出施工期安全监测，合理使用所有监测仪器，使各类监测仪器达到最大功效。

11.1.3 仪器的安装、埋设、防护、监测等现场工作与开挖、支护等施工形成交叉作业，为减少这种相互影响和干扰，这部分工作应纳入到施工工序中，在施工管理中统一协调和安排。必要时可列为关键工序，以保证安全监测工作的有效进行。

11.1.4 建立一套监测信息反馈流程，能及时有效的将监测信息反馈给各参建单位，准确把握围岩和支护结构安全状态，及时对工程施工措施做出决策。

11.1.5 安全监测人员要有独立的交通工具、通信设施和登高作业台车，当发现监测数据异常时，能够随时进行跟踪监测，做到监测数据及时完整，预报准确。考虑高空作业的安全问题和便于监测，规定超过 5.0m 以上的监测应采用作业台车等登高设备。

11.2 监 测 内 容

11.2.1、11.2.2 地下工程施工期监测分洞内监测和洞外监测，各工程的具体监测项目和内容根据地下工程的规模、地质条件和施工方法确定。

11.3 监测布置

11.3.1 Ⅲ～Ⅴ类围岩及断层破碎带、膨胀性围岩、洞口及隧洞交叉口地段、埋深较浅地段、受邻区开挖影响较大地段，是围岩容易产生塌方、失稳的地段；地下水丰富地段、溶洞和高地应力区段对施工安全影响较大，容易发生安全事故。

围岩或一次支护的顶拱沉降和收敛监测断面间距通常为：Ⅲ类围岩不大于50m设一个；Ⅳ类围岩不大于40m设一个；Ⅳ类偏下、Ⅴ类偏上围岩不大于30m设一个；Ⅴ类围岩不大于25m设一个；断层破碎带每5～10m设一个。

11.3.2 典型洞室断面具有结构和地质条件代表性，监测结果能反映变形的一般规律；大型地下洞室的高边墙和相邻洞室间岩壁由于径向应力的显著释放和切向应力的增加，这部分岩体变形较大；高边墙的隧洞口及其洞口内段和岩壁吊车梁的岩台区域由于应力集中，围岩容易产生破坏。

11.3.3 采用地质超前预报对断层破碎带、滞水层等不良地质地段进行分析，可以宏观预报隧洞施工遇到的不良地质类型、规模、大约位置和走向，宏观预报施工地质灾害的类型和发生的可能性，为施工提供决策依据，及时调整施工方法和支护参数。

地质超前预报有地震反射波法（Tunnel Seismic Prediction，简称TSP）、地震反射回波法（Tunnel Geologic Prediction，简称TGP）、地震波隧洞反射层析扫描成像超前预报技术（Tunnel Reflection Tomography，简称TRT）、地质雷达法（Ground Penetrating Radar，简称GPR）、超前水平钻法等。以美国生产的TRT6000无线电波三维成像地质超前预报系统为例，其最大探测距离硬岩中为300m；软岩中为150m。

地质超前预报一般分为长距离预报、中距离预报和短距离预报三个阶段。长距离预报是宏观控制性预报，超前掌子面距离在100m以上；中距离预报是验证性预报，超前掌子面距离为30～50m；短距离预报是地质描述性预报，超前掌子面距离小

于 30m。

11.3.4 多种监测仪器集中结合布置有利于监测资料的相互对比和分析。对于重点监测断面或部位规定监测仪器不少于两种，一是提高监测数据的可靠性，二是便于互相印证和解释。

11.4 监测仪器及安装

11.4.1 常用的监测仪器有收敛计、精密水准仪、多点位移计、钻孔测斜仪、岩石声波仪、锚杆应力计、接触压力计、岩石应力计、爆破振动监测采集仪、地质超前预报系统等。要根据监测对象，监测部位等采用相应的监测仪器。收敛计适用于洞室围岩表面相对变形监测，测点安装快捷方便；精密水准仪主要监测洞室围岩的顶拱沉降和底板上抬，一般与收敛计配合监测；多点位移计和钻孔测斜仪主要监测围岩的内部位移，前者用于监测围岩内部纵向位移，多用于顶拱和高边墙位置以及洞口岩体高边坡，后者用于监测围岩内部横向位移，多用于高边墙和洞口岩体高边坡；岩石声波仪主要测试围岩的松动范围和爆破对围岩的损伤程度；锚杆应力计用于监测锚杆的应力大小和应力分布，与声波仪配合监测，可以推断需要支护的锚杆长度；接触压力计一般安装在围岩与支护结构的接触面上，多用于拱部，以了解支护结构承受的荷载情况；岩石应力计多用于岩爆地区，通过两向或三向应力监测，预测岩爆的可能；爆破振动监测采集仪主要用于监测爆破对建筑物或结构的振动影响，对于控制爆破，如岩壁吊车梁的岩台开挖，通过振动监测可以评价爆破参数的合理性；地质超前预报系统多用于采用 TBM（隧洞掘进机）开挖时距掌子面前方一定距离的地下水、断层、溶洞等的预报。

由于水工隧洞工作环境恶劣，除满足精度和量程要求外，还要考虑选择性能稳定、耐久性和抗震性强，不怕潮湿，安装埋设方便，对施工干扰小，易于采集数据的仪器。

11.4.2 由于围岩变形的时空效应，仪器的安装越及时越靠近掌子面，变形丢失的越少，所取得的资料越能较全面地反映围岩变

形的总体情况。但太靠近掌子面，对仪器安装和防护增加了困难，所以规定距掌子面不宜超过 1.0m，这个距离防护也是能够做好的。

11.4.3 变形或应力变化较大部位一般也是洞室围岩或结构产生破坏开始部位，仪器安装和埋设在这些部位能够有效监控洞室围岩稳定或支护结构安全状态全局。最大变形方向多为洞室的径向方向。最大受力方向多为洞室的径向方向或切向方向。

11.4.4 洞室内空收敛监测，以建立收敛三角形作为基本监测单元，中、小型地下洞室采用 1～2 个收敛三角形基本可以控制顶拱和边墙变形较大点；大型地下洞室，其断面由于采用分步开挖形式，净空不断变化，收敛测点也应根据情况安装和调整。安装多点位移计的部位多是监测围岩变形影响范围或断层位置，测点过少或基准点埋深不够，达不到监测效果。锚杆应力分布是不均匀的，也不是线性关系，同一根锚杆至少需要 3 点的应力数据才能给出其基本分布规律。

11.4.5 爆破飞石、施工机具、喷射混凝土等容易对已安装的监测仪器产生破坏。在监测初期，这种破坏会造成监测数据的严重缺失，无法根据监测结果进行预测预报。因此，要求对仪器进行有效地防护和做好明显标志。

11.4.6 采用早强材料浆体可缩短其固化时间，减少施工等待时间，使仪器尽早投入使用。采用微膨胀材料可减少浆体的收缩，使仪器与岩体结合强度增加，提高仪器与围岩同步变形的可靠性。在浆体未达到固化强度时进行掌子面掘进作业，会使仪器与围岩脱离，造成监测数据不能真实地反映围岩变化情况。

11.5 监测技术要求

11.5.1 要做好安全预测预报工作，离不开早期的监测资料的积累，通过早期的不同地质条件的监测数据及其相关因素的影响分析，能够尽早了解和掌握不同地质条件的围岩变形等特性和规律。

11.5.2 围岩和支护状态等工作环境的巡视，对于判断围岩和支护结构的稳定性是十分重要的，是监测工作不可缺少的内容。

11.5.3 一方面，监测工作需要占用主体工程的时间和空间，规定监测频次，在施工组织设计中应考虑监测工作与主体工程的交叉影响；另一方面，围岩开挖初始阶段，由于约束的逐渐解除，测试的物理量值受空间效应影响显著，测值增长较快，其测试数据决定了回归曲线的形态和趋势。

11.5.4 本条主要是保证施工安全和在施工组织设计上应考虑出现险情时的预案。围岩（结构）失稳或出现险情，可根据 GB 50086 参照类似工程、围岩稳定计算结果、现场情况等，结合本工程的特点综合分析确定。

11.5.5 安全监测工作是一项技术含量较高、专业性较强的工作，本条规定监测成果的提交方式和内容，有利于组织信息化施工作业。

中国水利水电出版社

水利水电技术标准咨询服务中心简介

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其他学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已经出版近三万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（第三水利水电编辑室）主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材编辑出版工作。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版工作。

联系电话：010－68317913（传真）　jwh@waterpub.com.cn
主　　任：王德鸿 010－68545951　wdh@waterpub.com.cn
主任助理：陈　昊 010－68545981　hero@waterpub.com.cn
首席编辑：林　京 010－68545948　lj@waterpub.com.cn
策划编辑：王　启 010－68545982　wqi@waterpub.com.cn
　　杨露茜 010－68545995　ylx@waterpub.com.cn
　　王丹阳 010－68545974　wdy@waterpub.com.cn
　　章思洁 010－68545995　zsj@waterpub.com.cn

155170.80

SL 642—2013

中华人民共和国水利行业标准

水利水电地下工程施工组织设计规范

SL 642—2013

*

中国水利水电出版社出版发行

（北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038）

网址：www.waterpub.com.cn

E-mail：sales@waterpub.com.cn

电话：（010）68367658（发行部）

北京科水图书销售中心（零售）

电话：（010）88383994、63202643、68545874

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

北京瑞斯通印务发展有限公司印刷

*

140mm×203mm 32开本 3.75印张 101千字

2013年10月第1版 2013年10月第1次印刷

*

书号 155170·80

定价 **38.00** 元

凡购买我社规程，如有缺页、倒页、脱页的，

本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究