

公路隧道施工技术规范

Technical Specifications for Construction of Highway Tunnel

(附条文说明)

1994—11—30 发布

1995—07—01 实施

中华人民共和国交通部发布

关于发布《公路隧道施工技术规范》的通知

交公路发[1994]1134号

(不另行文)

部批准《公路隧道施工技术规范》(编号为 JTJ042—94)作为行业标准,自1995年7月1日起施行。

该规范由交通部重庆公路科学研究所负责解释。希各单位在执行中注意积累资料,并将发现的问题和修改意见函告部重庆公路科学研究所,以便修订时参考。该规范由人民交通出版社出版、发行。

中华人民共和国交通部
一九九四年十一月三十日

目 录

1	总则	.....
2	施工准备	.....
3	施工测量	.....
3.1	一般规定	.....
3.2	洞内施工测量	.....
3.3	贯通误差的测定及调整	.....
3.4	竣工测量	.....
3.5	辅助坑道测量	.....
4	洞口、明洞与浅埋段工程	.....
4.1	洞口工程	.....
4.2	明洞工程	.....
4.3	浅埋段工程	.....
5	开挖	.....
5.1	一般规定	.....
5.2	开挖方法	.....
5.3	超欠挖控制	.....
5.4	钻爆设计	.....
5.5	钻爆作业	.....
5.6	掘进机开挖	.....
6	出渣与运输	.....
6.1	装渣与卸渣	.....
6.2	运输	.....
7	施工支护	.....
7.1	一般规定	.....
7.2	锚杆施工	.....
7.3	喷射混凝土	.....
7.4	锚喷支护的质量要求	.....
7.5	构件支护	.....
7.6	构件支护的架设	.....
8	衬砌	.....
8.1	一般规定	.....
8.2	拱(墙)架与模板	.....
8.3	模筑衬砌	.....
8.4	二次衬砌	.....
9	监控量测	.....
9.1	一般规定	.....
9.2	量测内容与方法	.....
9.3	量测数据处理与应用	.....
9.4	量测管理	.....
10	防水和排水	.....

10.1	一般规定	.....
10.2	施工防排水	.....
10.3	结构防排水施工	.....
11	风水电作业和通风防尘	.....
11.1	供风和供水	.....
11.2	供电与照明	.....
11.3	通风、防尘、防有害气体	.....
12	辅助坑道	.....
12.1	一般规定	.....
12.2	余井	.....
12.3	竖井	.....
12.4	横洞与平行导坑	.....
13	辅助施工方法	.....
13.1	适用范围及一般规定	.....
13.2	稳定开挖面的方法	.....
13.3	涌水的处理方法	.....
14	特殊地质地段的施工	.....
14.1	一般规定	.....
14.2	膨胀性围岩	.....
14.3	黄土	.....
14.4	溶洞	.....
14.5	塌方	.....
14.6	流沙	.....
14.7	瓦斯地层	.....
15	路基、路面基层与路面	.....
15.1	一般规定	.....
15.2	路基	.....
15.3	路面基层	.....
15.4	路面	.....
16	附属设施工程	.....
16.1	设备洞、横通道及其它	.....
16.2	装饰工程	.....
16.3	营运管理设施	.....
附录A	开挖方法及开挖、支护顺序图	.....
附录B	爆破成缝试验方法	.....
附录C	锚喷支护施工记录	.....
附录D	锚喷支护的试验和测定方法	.....
附录E	量测记录表	.....
附录F	施工通风方式	.....
附录G	本规范用词说明	.....
	附加说明	.....
	附件：公路隧道施工技术规范 JTJ042-99 条文说明	.....
	编制说明	.....
1	总则	.....

2	施工准备	.....
3	施工测量	.....
3.1	一般规定	.....
3.2	洞内施工测量	.....
3.3	贯通误差的测定及调整	.....
3.5	辅助坑道测量	.....
4	洞口、明洞与浅埋段工程	.....
4.1	洞口工程	.....
4.2	明洞工程	.....
4.3	浅埋段工程	.....
5	开挖	.....
5.1	一般规定	.....
5.2	开挖方法	.....
5.3	超欠挖控制	.....
5.4	钻爆设计	.....
5.5	钻爆作业	.....
5.6	掘进机开挖	.....
6	出渣与运输	.....
6.1	装渣与卸渣	.....
6.2	运输	.....
7	施工支护	.....
7.1	一般规定	.....
7.2	锚杆施工	.....
7.3	喷射混凝土	.....
7.4	锚喷支护的质量检查	.....
7.5	构件支护	.....
7.6	构件支护的架设	.....
8	衬砌	.....
8.1	一般规定	.....
8.2	拱(墙)架与模板	.....
8.3	模筑衬砌	.....
8.4	二次衬砌	.....
9	监控量测	.....
9.1	一般规定	.....
9.2	量测内容与方法	.....
9.3	量测数据处理与应用	.....
9.4	量测管理	.....
10	防水和排水	.....
10.1	一般规定	.....
10.2	施工防排水	.....
10.3	结构防排水施工	.....
11	风水电作业和通风防尘	.....
11.1	供风和供水	.....
11.2	供电与照明	.....

11.3	通风、防尘、防有害气体	.....
12	辅助坑道	.....
12.1	一般规定	.....
12.2	斜井	.....
12.3	竖井	.....
12.4	横洞与平行导坑	.....
13	辅助施工方法	.....
13.1	适用范围及一般规定	.....
13.2	稳定开挖面的方法	.....
13.3	涌水的处理方法	.....
14	特殊地质地段的施工	.....
14.1	一般规定	.....
14.2	膨胀性围岩	.....
14.3	黄土	.....
14.4	溶洞	.....
14.5	塌方	.....
14.6	流沙	.....
14.7	瓦斯地层	.....
15	路基、路面基层与路面	.....
15.1	一般规定	.....
15.2	路基	.....
15.3	路面基层	.....
15.4	路面	.....
16	附属设施工程	.....
16.1	设备洞、横通道及其他	.....
16.2	装饰工程	.....
16.3	营运管理设施	.....

1 总 则

1.0.1 为给公路山岭隧道工程的施工和施工管理提供技术依据和行为准则，特制订本规范。

1.0.2 本规范适用于各级公路山岭隧道。

1.0.3 隧道施工应在公路修建总体施工规划下，制订相应的施工组织设计。编制施工组织设计时，应考虑隧道长度和断面、工期要求、地质条件和当地自然条件等，确定合理的施工方法和施工进度。

1.0.4 必须执行质量检查制度，严格遵守操作规程，做好材料试验工作。施工中应做好技术交底工作，进行技术、质量、安全教育，确保工程质量，并坚持文明施工。

1.0.5 应制订安全制度和措施，加强通风、照明、防尘、降温及防水和防止有害气体的工作。并预防塌方事故，保护施工人员身体健康和安全。

1.0.6 施工中应贯彻国家的技术经济政策，积极而慎重地采用新技术、新材料、新设备、新工艺，使隧道施工符合技术先进、经济合理、质量可靠、安全实用的要求。

1.0.7 应合理安排施工机具设备周转时间，提高机械利用率。施工中应加强技术管理，并合理安排工序进度和关键工序的作业循环，组织均衡生产，提高劳动生产效率。

1.0.8 隧道施工中必须密切注意围岩及地下水等的变化情况，当施工方法或支护结构不适应于实际围岩状态时，必须采取应急措施，并经技术负责人批准后及时采用合适的施工方法或支护结构。

1.0.9 附属设施安装应按电气、机械、化工等专业有关规定要求办理。

1.0.10 施工中应采取环境保护措施，并符合环境保护的有关规定。

1.0.11 在施工过程中应随时积累资料、数据，做好各道工序的原始记录。

1.0.12 隧道施工应编写全面和单项施工技术总结，隧道竣工后应及时提交竣工文件。

1.0.13 公路隧道施工除应按规范执行外，尚应符合国家和交通部现行的有关标准、规范规定。

2 施工准备

2.0.1 隧道施工前应做好现场调查研究，核对设计文件和编制施工组织设计等工作。

2.0.2 施工前，应深入工地做好以下调查工作：

2.0.2.1 预测隧道施工对地表和地下已设结构物的影响。

2.0.2.2 对交通运输条件和施工运输便道进行方案比选。

2.0.2.3 施工场地布置与洞口相邻工程、弃渣利用、农田水利、征地等的关系。

2.0.2.4 建筑物、道路工程、水利工程和电讯、电力线等设施的拆迁情况和数量。

2.0.2.5 调查和测试水源、水质并拟定供水方案。

2.0.2.6 天然筑路材料(粘土、砂砾、石料)的产地、数量、质量鉴定及供应方案。

2.0.2.7 可资利用电源、动力、通信、机具车辆维修、物资、消防、劳动力、生活供应及医疗卫生条件。

2.0.2.8 当地气象、水文资料及居民点的社会状况。

2.0.2.9 施工中和营运后对自然环境、生活环境的影响及需要采取的保护措施。

2.0.3 施工单位应全面熟悉设计文件，会同设计单位进行现场核对，做好以下工作。

2.0.3.1 掌握工程的重点和难点，了解隧道方案的选定及设计经过；

2.0.3.2 重点复查对隧道施工和环境保护影响较大的地形、地貌、工程地质及水文地质条件是否符合实际，保护措施是否恰当；

2.0.3.3 核对隧道平面、纵断面设计，了解隧道与所在区段的总平面、纵断面设计的关系。

2.0.3.4 核对洞门位置、式样、衬砌类型是否与洞口周围环境相适应。

2.0.3.5 核对设计文件中确定的施工方法、技术措施与施工实际条件是否相符合。

2.0.3.6 核对洞外排水系统和设施的布置是否与地形、地貌、水文、气象等条件相适应。

2.0.3.7 会同设计单位现场交接和复查测量控制点、施工测量用的基准点及水准点，并定期进行复核。

2.0.4 编制施工组织设计，应包括施工方法、工区划分、场地布置、进度计划、工程数量、人员配备、主要材料、机械设备、电力和运输以及安全、质量、环保、技术、节约等主要措施内容。

2.0.5 选择施工方法应根据地质条件，结合隧道长度、断面、结构类型、工期要求、施工技术力量、安全生产、机械设备、材料、劳动力组合等情况合理确定，并依此编制进度计划。

2.0.6 隧道开工前应绘制施工场地总布置图。施工场地布置应结合工程规模、工期、地形特点、弃渣场和水源等情况，本着因地制宜、充分利用地形、合理布置、统筹安排的原则进行，并符合下列要求：

(1)以洞口为中心布置施工场地。施工场地应事先规划，分期安排，并减少与现有道路交叉和干扰。

(2)轨道运输的弃渣线、编组线和联络线，应形成有效的循环系统。

(3)长隧道洞外应有大型机械设备安装、维修和存放的场地。

(4)机械设备、附属车间、加工场应相对集中。仓库应靠近公路，并设有专用线。

(5)合理布置大堆材料(砂石料)、施工备品及回收材料堆放场地的位置。

(6)生活服务设施应集中布置在宿舍、保健和办公室用房的附近。

(7)运输便道、场区道路和临时排水设施等，应统一规划，做到合理布局、形成网络。

(8) 危险品库房按有关规定办理。

2.0.7 弃渣场地的布置应符合下列要求：

- (1) 场地容量足够，且出渣运输方便；
- (2) 不得占用其他工程场地和影响附近各种设施的安全；
- (3) 不得影响附近的农田水利设施，不占或少占农田；
- (4) 不得堵塞河道、沟谷，防止抬高水位和恶化水流条件。

2.0.8 临时工程施工，应符合下列要求：

- (1) 临时工程应在隧道开工前基本完成；
- (2) 运输便道需引至洞口，满足使用期限运量和行车安全的要求，并经常养护，保证畅通；
- (3) 风、水、电设施应靠近洞口，安装机械和管线应按有关规定布置，并及早架设；
- (4) 临时房屋应结合季节和地区特点，选用定型、拼装或简易式建筑，并能适应施工人员工作和生活的需要；
- (5) 严禁将临时房屋布置在受洪水、泥石流、坍方、滑坡及雪崩等自然灾害威胁的地段。临时房屋的周围应设有排水系统，并避开高压电线。生活用水的排放，不得影响施工，并防止产生次生灾害。

2.0.9 应根据工程需要配备成套的试验仪器，并做好钢材、木材、水泥、砂石料和混凝土等材料的试验工作。

2.0.10 采用复合式衬砌的隧道应做好的材料、机具设备、量测计划及仪器的准备工作。

2.0.11 隧道开工前，宜及时做好洞口前容易干扰洞身施工的有关工程。

2.0.12 施工前应结合工程特点和新材料、新技术、新工艺的推广应用等情况，对职工进行安全教育、技术交底和培训。

3 施工测量

3.1 一般规定

3.1.1 控制测量的精度应以中误差衡量，最大误差(极限误差)规定为中误差的两倍。

3.1.2 隧道施工时应做好下列工作：

(1)长隧道设置的精密三角网或精密导线网，应定期对其基准点和水准点进行校核；

(2)洞外水准点、中线点应根据隧道平纵面、隧道长度等定期进行复核，洞内控制点应根据施工进度设定。

3.1.3 洞内施工隧道测量，桩点必须稳定、可靠，且通视良好。水准点应设在不易损坏处，并加以妥善保护。测量仪器、工具在使用前应作检校，保证仪器具的技术状态符合使用要求，使用光电测距仪时，应按其使用规定要求进行。

3.1.4 隧道平面控制测量的精度、隧道内两相向施工中线在贯通面上的极限误差、由洞外和洞口内控制测量误差引起在贯通面产生的贯通误差影响值、洞内导线测角、量距的精度以及两洞口水准点间往返测高差不符什，均应符合交通部现行的《公路隧道勘测规程(JTJ 063)》的规定。

3.1.5 隧道竣工后应提交贯通测量技术成果书、贯通误差的实测成果和说明、净空断面测量和永久中线点、水准点的实测成果及示意图。

3.2 洞内施工测量

3.2.1 洞内导线应根据洞口投点向洞内作引伸测量，洞口投点应纳入控制网内，由洞口投点传递进洞方向的联接角测角中误差，不应超过测量等级的要求，后视方向的长度不宜小于 300m。导线点应尽量沿路线中线布设，导线边长在直线地段不宜短于 200m；曲线地段不宜短于 70m。无团合条件的单导线，应进行二组独立观测，相互校核。

用中线法进行洞内测量的隧道，中线点间距直线部分不宜短于 100m；曲线部分不宜短于 50m。

当用正倒镜延长直线法或曲线偏角法检测延伸的中线点时，其点位横向偏差不得大于 5mm。

3.2.2 特长隧道、长隧道及采用大型掘进机械施工的隧道，宜用激光设备导向。

3.2.3 供导坑延伸和掘进用的临时点可用串线法标定，其延伸长度在直线部分不应大于 30m；曲线部分不应大于 20m。串线法在两吊线间距不宜小于 5m。用串线法标定开挖面中线时，基距离可用皮尺丈量。

3.2.4 开挖前应开挖断面标出设计断面尺寸线，开挖工作完成后应及时测量并绘出断面图。

采用上下导坑法施工的隧道，上部导坑的中线每引伸一定距离后，应与下部导坑的中线联测一次，用以校核上部导坑的中线点或向上部导坑引点。

3.2.5 供衬砌用的临时中线点，必须用经纬仪测定，其间距可视放样需要适当加密，但不宜大于 10m。

3.2.6 衬砌立模前应复核中线和高程，标出拱架顶、边墙底和起拱线高程，用设计衬砌断面的支距控制架立拱模和墙模，立模后必须进行检查和校正，确保无误。

3.2.7 洞内水准路线应由洞口高程控制点向洞内布设，结合洞内施工情况，测点间距

以 200~500m 为宜。

洞内施工用的水准点，应根据洞外、洞内已设定的水准点，按施工需要加设。为使施工方便，在导坑内拱部、边墙施工地段宜每 100m 设立一个临时水准点，并定期复核。

3.3 贯通误差的测定及调整

3.3.1 贯通误差的测定应按下列要求进行：

(1) 采用精密导线测量时，在贯通面附近定一临时点，由进测的两方向分别测量该点的坐标，所得的团合差分别投影至贯通面及其垂直的方向上，得出实际的横向和纵向贯通误差，再置镜于该临时点测求方位角贯通误差。

(2) 采用中线法测量时，应由测量的相向两方向分别向贯通面延伸，并取一临时点，量出两点的横向和纵向距离，得出该隧道的实际贯通误差。

(3) 水准路线由两端向洞内进测，分别测至贯通面附近的同一水准点或中线点上，所测得的高程差值即为实际的高程贯通误差。

3.3.2 贯通误差的调整应按以下方法进行：

3.3.2.1 用折线法调整直线隧道中线。

3.3.2.2 曲线隧道，根据实际贯通误差，由曲线的两端向贯通面按长度比例调整中线。

3.3.2.3 采取精密导线法测量时，贯通误差用坐标增量平差来调整。

3.3.2.4 进行高程贯通误差调整时，贯通点附近的水准点高程，采用由进出口分别引测的高程平均值作为调整后的高程。

3.3.3 隧道贯通后，施工中线及高程的实际贯通误差，应在未衬砌的 100m 地段内（即调线地段）调整。该段的开挖及衬砌均应以调整后的中线及高程进行放样。

3.4 竣工测量

3.4.1 隧道竣工后，应在直线地段每 50m、曲线地段每 20m 及需要加测断面处，测绘以路线中线为准的隧道实际净空，标出拱顶高程、起拱线宽度、路面水平宽度。

3.4.2 隧道永久中线点，应在竣工测量后用混凝土包埋金属标志。直线上的永久中线点，每 200~250m 设一个，曲线上应在缓和曲线的起终点各设一个；曲线中部，可根据通视条件适当增加。永久中线点设立后，应在隧道边墙上画出标志。

3.4.3 洞内水准点每公里应埋设一个，短于 1km 的隧道应至少设一个，并应在隧道边墙上画出标志。

3.5 辅助坑道测量

3.5.1 经辅助坑道引入的中线及水准测量，应根据辅助坑道的类型、长度、方向和坡度等，按要求精度在坑道口附近设置洞外控制点。

3.5.2 平行导坑与横洞的引线方法和高程测量均与正洞相同。

3.5.3 斜井中线的方向应由斜井口外直线引伸，可采用正倒镜分中的串线法进行；斜井量距应丈量斜距，测出桩顶高程，求出高差，按斜距换算成水平距离。

3.5.4 竖井测量时，应根据竖井的大小、深度、必要的测量精度决定测量方法。经竖井引入中线的测量可使用钢弦吊锤、激光、经纬仪等。经竖井的高程可将钢卷尺直接吊下测定。

4 洞口、明洞与浅埋段工程

4.1 洞口工程

4.1.1 隧道洞口各项工程应通盘考虑，妥善安排，尽快完成，为隧道洞身施工创造条件。

4.1.2 隧道引道范围内的桥梁墩台、涵管、下挡墙等工程的施工应与弃渣需要相协调，尽早完成。

4.1.3 洞口开挖土石方应遵守下列规定：

4.1.3.1 进洞前应尽早完成洞口排水系统。

4.1.3.2 按设计要求进行边坡、仰坡放线，自上而下逐段开挖，不得掏底开挖或上下重叠开挖。

4.1.3.3 清除洞口上方有可能滑塌的表土、灌木及山坡危石等，不留后患。

4.1.3.4 石质地层拉槽爆破后，应及时清除松动石块；土质地层开挖后应及时夯实整平边(仰)坡。

4.1.3.5 洞门端墙处的土石方，应视地层稳定程度、洞口施工季节和隧道施工方法等选择施工时机和施工方法。

4.1.3.6 洞口施工宜避开降雨期和融雪期。在严寒地区施工，应按冬季施工的有关规定办理。

4.1.3.7 不得采用深眼大爆破开挖边(仰)坡。

4.1.3.8 开挖中应随时检查边坡和仰坡，如有滑动、开裂等现象，应适当放缓坡度，保证边(仰)坡稳定和施工安全。

4.1.3.9 开挖的土石方不得弃在危害边坡及其它建筑物稳定的地点，并不得影响运输安全。

4.1.3.10 洞口支挡工程应结合土石方开挖一并完成。

4.1.4 当洞口可能出现地层滑坡、崩塌、偏压时，应采取下列相应的预防措施：

(1)滑坡 可采取地表锚杆、深基桩、挡墙、土袋或石笼等加固措施。

(2)崩塌 可采取喷射混凝土、地表锚杆、锚索、防落石棚、化学药液注浆加固等措施。

(3)偏压 可采取平衡压重填土、护坡挡墙或对偏压上方地层挖切等措施，以减轻偏压力。

(4)开挖中对地层动态应进行监控量测，检查各种处理措施的可靠性。

4.1.5 开挖进洞时，宜用钢支撑紧贴洞口开挖面进行支护，围岩差时可用管棚支护围岩，支撑作业应紧跟开挖作业，稳妥前进。

4.1.6 洞门衬砌施工应按《钢筋混凝土工程施工及验收规范》(GBJ 204)的有关规定办理，并符合以下要求：

(1)土质地基应整平夯实，土层松软时，应加碎石，人工夯实，将基础置于稳固的地基上。

(2)基础处的渣体杂物、风化软层和积水应清除干净。

(3)洞门衬砌拱墙应与洞内相联的拱墙同时施工，连成整体。如系接长明洞，则应按设计要求采取加强连接措施，确保与已成的拱墙连接良好。

(4)端墙施工放样时，应保证位置准确和墙面坡度平顺。

(5)灌注混凝土应保证模板不移动。

(6) 洞门端墙的砌筑与墙背回填应两侧同时进行，防止对衬砌边墙产生偏压。

(7) 洞门衬砌完成后，及时处治洞门上方仰坡脚受破坏处。当边(仰)坡地层松软、破碎时，应采取坡面防护措施。

(8) 洞门的排水沟砌筑在填土上时，填土必须夯实。

(9) 洞门的排水、截水设施应与洞门工程配合施工，并应与路堑排水系统连通。

4.2 明洞工程

4.2.1 明洞衬砌施工可选用下列几种方法：

(1) 当边坡能暂时稳定时，可采用先墙后拱法；

(2) 当边坡稳定性差，但拱脚承载力较好，能保证拱圈稳定时，可采用先拱后墙法；

(3) 半路堑式明洞施工时，可采用墙拱交替法，且宜先做外侧边墙，继作拱圈，再作内侧边墙；

(4) 当路堑式明洞拱脚地层松软，不能采用先拱后墙法施工时，可待起拱线以上挖成后，采用跳槽挖井法先灌筑两侧部分边墙，再做拱圈，最后做其余边墙。

(5) 具备相应的机具条件时，可采用拱墙整体灌筑。

4.2.2 明洞衬砌边墙基础和遮光棚支柱基础等应设置在稳固地基上，如边墙基础挖到设计标高后，地质情况及允许承载力与设计要求不符时，应及时进行处理。明洞地段土石方开挖按本章 4.1.3 条执行。

4.2.3 明洞衬砌施工应注意下列事项：

(1) 灌注混凝土前应复测中线和高程，衬砌不得侵入设计轮廓线；

(2) 拱圈应按断面要求制作定型挡头板、外模和骨架，并应采取防止走模的措施；

(3) 采取跳槽边墙浇筑拱圈时，应加强对拱脚的基底处理，保持拱脚稳定；当拱脚基底过深时，应先浇筑基础托梁，必要时加设锚杆使拱脚混凝土与岩壁连接牢固，防止拱脚基底松动沉落；

(4) 浇筑拱圈混凝土达到设计强度 70% 以上时，方可拆除内外支模拱架；

(5) 各类棚洞的钢筋混凝土盖板梁宜采用预制构件，用吊装法架设，墙顶支座槽应用水泥砂浆填塞紧密。

4.2.4 明洞衬砌完成后进行回填时，应符合下列要求：

4.2.4.1 在拱圈外模拆除后应立即做好防水层及拱脚处的纵向盲沟，保证排水顺畅。

4.2.4.2 墙背回填应两侧同时进行。墙底部应铺填 0.5~1.0m 厚碎石并夯实，然后向上回填。石质地层中墙背与岩壁空隙不大时，可采用与墙身同级混凝土回填；空隙较大时，可采用片石混凝土或浆砌片石回填密实，土质地层，应将墙背坡面开凿成台阶状，用干砌片石分层码砌，缝隙用碎石填塞紧密，不得任意抛填土石。

4.2.4.3 明洞拱背回填应对称分层夯实，每层厚度不得大于 0.3m，其两侧回填的土面高差不得大于 0.5m。回填至拱顶齐平后，应立即分层满铺填筑至要求高度。

4.2.4.4 使用机械回填应待拱圈混凝土强度达到设计强度且由人工夯实填至拱顶以上 1.0m 后方可进行。

4.2.4.5 拱背回填需作粘土隔水层时，隔水层应与边、仰坡搭接良好，封闭紧密，防止地表水下渗影响回填体的稳定。

4.2.4.6 明洞背后敷设或喷涂防水层时，应符合本规范 10.3 节有关要求。

4.2.5 明洞与暗洞衔接施工宜采用先拱后墙法，在仰坡暂时能稳定时，宜由内向外进行施工；在仰坡易坍塌的情况下，宜先将明洞拱圈灌筑到仰坡脚，再由内向外做洞内拱圈，并确保仰坡稳定。明洞与暗洞拱圈应连接良好。

4.3 浅埋段工程

4.3.1 浅埋段和洞口加强段的开挖施工，应根据地质条件、地质沉陷对地面建筑物的影响以及保障施工安全等因素选择开挖方法和支护方式，并应符合下列规定。

(1) 根据围岩及周围环境条件，可优先采用单侧壁导坑法、双侧壁导坑法或留核心土开挖法；围岩的完整性较好时，可采用多台阶法开挖。严禁采用全断面法开挖。

(2) 开挖后应尽快施作锚杆、喷射混凝土、敷设钢筋网或钢支撑。当采用复合衬砌时，应加强初期锚喷支护。Ⅱ类以下围岩，应尽快施作衬砌，防止围岩出现松动。锚喷支护及构件支撑的施工应符合本规定第7章的要求。

(3) 锚喷支护或构件支撑，应尽量靠近开挖面，其距离应小于1倍洞跨。

4.3.2 浅埋段的地质条件很差时，宜采用地表锚杆、管棚、超前小导管、注浆加固围岩等辅助方法施工。

4.3.3 控制地表沉降，应采取如下技术措施：

(1) 宜采用单臂掘进机或风镐开挖，减少对围岩的扰动；当采取爆破开挖时，应短进尺、弱爆破；

(2) 打设拱脚锚杆，提高拱脚处围岩的承载力；

(3) 及时施作仰拱或临时仰拱；

(4) 地质条件差或有涌水时，宜采用地表预注浆结合洞内环形固结注浆；

(5) 加强对地表下沉、拱顶下沉的量测及反馈，以指导施工。量测频率宜为深埋段时的2倍。

5 开 挖

5.1 一般规定

5.1.1 开挖方式和开挖方法应按本规范 1.0.3 条的原则确定，并应具有较大适应性。变换开挖方法时，应有过渡措施。

5.1.2 人力开挖方式只限于其它开挖方式不宜采用或在围岩不稳定的土质隧道中应用。低等级公路的短隧道可采取人力开挖方式。

5.1.3 开挖作业应遵守下列规定：

(1) 合理确定开挖步骤和循环进尺，保持各开挖工序相互衔接，均衡施工；

(2) 开挖断面尺寸应符合设计要求；

(3) 爆破后，对开挖面和未衬砌地段应进行检查，对可能出现的险情，应采取措施及时处理；

(4) 开挖作业中，不得损坏支护、衬砌和设备，并应保护好量测用的测点；

(5) 做好地质构造的核对和素描，地质变化处和重要地段，应有照片记载。

5.1.4 岩石隧道的爆破应采用光面爆破或预裂爆破技术，施工中应提高钻眼效率和爆破效果，降低工料消耗。

5.1.5 开挖爆破应选用适当的炸药品种和型号，在漏水和涌水地段应采用非电导爆管起爆。

5.1.6 爆炸作业及火药物品的管理，必须遵守现行的国家标准《爆破安全规程》的有关规定。对有瓦斯溢出的隧道，应根据工点的地质情况、瓦斯溢出程度和设备条件，制定适宜的施工方案。

5.1.7 隧道双向开挖接近贯通时，两端施工应加强联系，统一指挥，并采取浅眼低药量，控制爆破。当两开挖面间的距离剩下 15m 时，应改为单向开挖，直到贯通为止。

5.1.8 双洞开挖时，应根据两洞的轴线间距、洞口里程距离、地质条件及其它自然条件，选择适宜的开挖方法，确定好两洞开挖的时间差，并采取措施防止后行洞开挖对先行洞周壁产生不良影响。

5.2 开挖方法

5.2.1 开挖方法应考虑围岩条件，并与支护衬砌施工相协调。开挖方法及开挖、支护顺序图见附录 A。

5.2.2 开挖方法的适用范围和施工要求如下：

5.2.2.1 全断面法适用于 VI~IV 类围岩。该法可采用深孔爆破，其深度可取 3 ~3.5m。全断面法不适用于 3 车道隧道和停车带区段开挖。

5.2.2.2 台阶法适用于 IV~II 类较软或节理发育的围岩，其施工要求如下：

(1) 上下台阶之间的距离，应能满足机具正常作业，并减少翻渣工作量。

(2) 当顶部围岩破碎，施工支护需紧跟时，可适当延长台阶长度，减少施工干扰。

(3) 台阶不宜多分层，装渣机械应紧跟开挖面，以减少扒渣距离。

5.2.2.3 台阶分部开挖法适用于 III~II 类围岩或一般土质围岩地段。一般环形开挖进尺不应过长，以 0.5~1.0m 为宜。

5.2.2.4 导坑法适用于 III~II 类围岩。下导坑适用于探查开挖面前方地下水情况；

中央导坑适用于处理膨胀压力地层；上导坑适用于洞口段辅助开挖。各工序安排应紧凑，支护及时，保证施工安全。

5.2.2.5 单侧壁导坑法适用于围岩较差、跨度大、埋层浅、地表沉降需要控制的场合。中壁墙的拆除，必须待围岩完全稳定后方可进行。

5.2.2.6 双侧壁导坑法适用于浅埋大跨度隧道及地表下沉量要求严格而围岩条件很差的情况。施工中应注意各工序的合理安排，加强洞内施工管理和围岩监测工作，并掌握好两壁墙的拆除时间。

5.2.2.7 I 类围岩必须按辅助施工方法的要求进行处理后方可开挖。

5.2.3 当衬砌采用先拱后墙施工时，下部断面开挖应符合下列要求：

(1) 拱圈子混凝土达到设计强度 70%之后方可进行下部断面的开挖；

(2) 可采取扩大拱脚、打设拱脚锚杆、加强纵向联接等措施，加固拱脚；

(3) 下部边墙开挖后，应按设计规定及时做好支护；

(4) 应及时观测拱顶、拱脚和边墙中部的位移，当变形速率有增大趋势时，应立即采取仰拱封闭或其他有效措施，保证围岩和衬砌尽局面处于稳定状态。

5.2.4 边墙马口跳槽的开挖，一般应错开施工，围岩状态较好时可采取对开施工，并符合下列要求：

5.2.4.1 宜采取长短马口结合，减少跳槽次数。首轮马口长度，IV~III类围岩不宜大于 4m，II~I 类围岩不宜大于 2m。

5.2.4.2 首轮马口和中心宜选在拱圈接缝处，并注意岩层倾余和稳定情况，防止顺层坍塌。

5.2.4.3 回头马口开挖必须待相邻边墙封口 24h 后进行；有侧压力时，应在封口 3 天后进行。

5.2.4.4 洞口加强段开挖马口，拱圈悬臂长度不得超过首轮马口长度。

5.2.5 导坑开挖或中槽开挖应采取多循环，并符合以下要求：

(1) 导坑断面应根据地质条件、支护形式、机具设备和运输、通风、排水的要求以及作业安全要求等来确定；

(2) 各类临时支撑不得妨碍坑内运输作业；

(3) 在地质条件较好时，下导坑可保持较长的超前距离；

(4) 当为硬质地层时，下导坑底部应一次挖至隧道底设计高；上导坑应一次挖至隧道顶开挖轮廓线。

5.2.6 分部开扩大时，应符合下列要求：

(1) 开挖应顺帮打眼，周壁采用光面爆破；

(2) 围岩压力较大时，分部开挖应与支撑配合进行；

(3) 当洞口段地质较差或覆盖层较薄时，应在洞内稳定地层向洞口方向逐步扩挖的浇筑拱圈，保证洞口段施工安全；

(4) 当分层扩大时，应加强断面测量工作，防止超欠挖；并配合出渣进行断面检查，清除欠挖，处理危石。

5.2.7 仰拱部位开挖时，可采取整幅开挖或半幅开挖，并应符合下列要求：

(1) 挖至设计要求深度，底面平顺，清除渣物；

(2) 排净积水，做好排水设施；

(3) 隧道底两隅与侧墙联接处应平顺开挖，避免引起应力集中；

(4) 当遇变形很大的膨胀性围岩时，低面及其两隅应预先打入锚杆或采取其它加固措施后，再行开挖，其方法和规定可按本规范 14.2 节执行；

(5) 仰拱部开挖时，应采取保证措施保证洞内临时交通畅通。

5.3 超欠挖控制

5.3.1 应严格控制欠挖，当岩层完整、岩石抗压强度大于 30MPa 并确认不影响衬砌结构稳定和强度时，允许岩石个别突出部分(每 1m^2 内不大于 0.1m^2) 欠挖，但其隆超量不得大于 5cm。拱、墙脚以上 1m 内断面严禁欠挖。

5.3.2 应尽量减少超挖，不同围岩地质条件下的允许超挖值规定见表 5.3.2。当采用特殊方法支护时，允许超挖量应知当降低。

围岩类别	硬岩, 一般相当于 VI 类围岩	中硬岩、软岩 相当于 V~III 类围岩	破碎松散岩石及土质, 相当于 II~I 类围岩(一般不需爆破开挖)
开挖部位			
拱部	平均 10 最大 20	平均 15 最大 25	平均 10 最大 15
边墙、仰拱、隧底	平均 10	平均 10	平均 10

注: ①硬岩是指岩石抗压极限强度 $R_b > 60\text{MPa}$, 中硬岩 $R_b = 30 \sim 60\text{MPa}$, 软岩 $R_b < 30\text{MPa}$ 。

②平均线性超挖值=。

③最大超挖值系指最大超挖处至设计开挖轮廓切线的垂直距离。

④表列数值不包括测量贯通误差、施工误差。如采用预留支撑沉落量时, 不应再计超挖值。

5.3.3 应采取光面爆破、提高钻眼精度、控制药量等措施, 并提高作业人员的技术水平, 将超挖控制在允许值以内。

5.3.4 测定超挖量应根据现场条件采用切实可行的测定方法。一般可采取下列方法:

- (1) 由出渣量或衬砌混凝土量推算;
- (2) 通过激光投影仪直接测定开挖面面积;
- (3) 用断面测定仪量测。

5.3.5 采用复合式衬砌时, 隧道的开挖轮廓应预留变形量当设计无规定时, 可按表 5.3.5 选用。

围岩类别	IV	III	II	I
预留变形量	3~5	5~7	7~10	特特设计

注: ①本表按 2 车道隧道考虑。

②有明显流变和膨胀性岩体, 应根据量测信息反馈计算分析选定。

③3 车道隧道应另行预留变形量。

5.3.6 当采用构件支撑时, 如围岩压力较大, 支撑可能沉落或局部支撑于拆除时, 应适当加大开挖断面, 预留支撑沉落量保证衬砌设计厚度, 预留支撑沉落量应根据围岩性质和围岩压力, 并在施工过程中根据量测结果进行调整。

5.4 钻爆设计

5.4.1 钻爆设计应根据工程地质条件、开挖断面、开挖方法、掘进循环进尺、钻眼机具、爆破材料和出渣能力等因素综合考虑。

钻爆设计的内容应包括：炮眼（掏槽眼、辅助眼、周边眼）的布置、数目、深度和角度、装药量和装药结构、起爆方法和爆破顺序等。设计图应包括：炮眼布置图、周边眼装药结构图、钻爆参数表、主要技术经济指标及必要的说明。

5.4.2 硬岩宜采用光面爆破，软岩宜采用预裂爆破，分部开挖时可采用预留光面层光面爆破。

5.4.3 采用光面爆破时，应满足以下技术要求：

- (1) 根据围岩特点合理选择周边眼间距及周边眼的最小抵抗线；
- (2) 严格控制周边眼的装药量，并使药量沿炮眼全长合理分布；
- (3) 周边眼宜采用小直径药卷和低爆速炸药。可借助传爆线以实现空气间隔装药；
- (4) 采用毫秒雷管微差顺序起爆，应使周边爆破时产生临空面。周边眼同段的雷管起爆时差应尽可能小；

(5) 各光面爆破参数如周边眼间距(E)、最小抗线(V)、相对距(E/V)和装药集中度(q)等，应采用工程类比或根据爆破漏斗及成缝试验确定，爆破成缝试验可按附录 B 进行。在无条件试验时，可按表 5.4.3 选用。

光面爆破诸参数 表 5.4.3

参 数 岩 石 种 类	饱和单轴抗压 限强度 R_b (MPa)	装药不偶合 系数 D	周边眼 间距 E (cm)	周边眼最小抵 抗线 V (cm)	相对距 E/V	周边眼药集中 度 q (kg/m)
硬 岩	>60	1.2~51.5	55~70	70~85	0.8~1.0	0.30~0.35
中硬岩	30~60	1.50~2.00	45~60	60~75	0.8~1.0	0.20~0.30
软 岩	≤30	2.00~2.50	30~50	40~60	0.5~0.8	0.07~0.15

注：①软岩隧道光面爆破的相对距宜取小值。

②装药集中度按 2 号岩石硝按炸药考虑，当采用其它炸药时，应进行换算。换算指标主要是猛度和爆力（平均值）。换算系数 K 按下式计算。

$$K = \frac{1}{2} \left(\frac{2\text{号岩石炸药猛度}}{\text{换算炸药猛度}} + \frac{2\text{号岩石炸药爆力}}{\text{换算炸药爆力}} \right)$$

5.4.4 预裂爆破诸参数可在现场由爆破成缝试验获得，在无条件试验时，可按表 5.4.3-1 选用。预留光面层光面爆破参数可按表 5.4.3-2 选用。

预裂火电厂破诸参数 表 5.4.3-1

参 数 岩 石 种 类	饱和单轴 抗压限强 度 R_b (MPa)	装药不偶 合系数 D	周边眼 间距 E (cm)	周边眼至 内圈落眼 间距 (cm)	周边眼装 药集中度 q (kg/m)
硬 岩	>60	1.2~1.3	40~50	40	0.35~0.40
中硬岩	30~60	1.3~1.4	40~45	40	0.25~0.35
软 岩	≤30	1.4~1.5	30~40	40	0.09~0.19

预留光面层光面爆破诸参数

表 5.4.4-2

参 数 岩 石 种 类	饱和单轴 抗压限强 度 R_b (MPa _a)	装药不偶 合系数 D	周边眼 间距 E (cm)	周边眼最小抵 抗线 V (cm)	相对距 E/V	周边眼药集中 度 q (kg/m)
硬 岩	>60	1.2~51.5	60~70	70~80	0.7~1.0	0.20~0.30
中硬岩	30~60	1.50~2.00	40~50	50~60	0.8~1.0	0.10~0.15
软 岩	≤30	2.00~2.50	40~50	50~60	0.7~0.9	0.07~0.12

注：①表的适用范围：炮眼深度 1.0~3.5m 炮眼直径 40~50mm，药卷直径 20~32mm。

②炸药换算系数按表 5.4.3 注②所示的公式计算。

5.4.5 周边眼参数的选用应遵守下列原则：

(1) 当断面较小或围岩软弱、破碎或在曲线、折线处开挖成形要求高时，周边眼间距 E 应取较最小值；

(2) 抵抗线 V 座大于周边眼间距。软岩在取较小的周边眼间距的同时，抵抗线应适当增大；

(3) 对于软岩或破碎性围岩，周边眼的相对距 E/V 应取最小值。

5.4.6 爆破开挖一次进尺应根据围岩条件确定，开挖软弱围岩时，应控制在 1~2m 之内；开挖坚硬完整的围岩时，应根据周边炮眼的外插角及允许超挖量确定。

硬岩隧道全断面开挖，眼深为 3~3.5m 的深眼爆破时，单位体积岩石耗药量可取 3~3.5kg/m³；采用半断面或台阶法开挖，眼深为 1.0~3.0m 的浅眼爆破时，单位耗药量可取 0.4~0.8kg/m³。

5.4.7 炮眼布置应符合下列要求：

5.4.7.1 掏槽炮眼布置在开挖断面的中央稍靠下部，以使底部岩石破碎，减少飞石。

5.4.7.2 周边炮眼应沿设计开挖轮廓线布置。

5.4.7.3 辅助炮眼应交错均匀地布置在周边眼与掏槽眼之间，并垂直于开挖面打眼，力求爆下的石渣块体大小适合装渣的要求。

5.4.7.4 开挖断面底面两隅处，应合理布置辅助眼，适当增加药量，消除爆破死角。断面顶部应控制药量，防止出现超挖。

5.4.7.5 宜用直眼掏槽，眼深小于 2m 时可用斜眼掏槽，两个掏槽炮眼间距不得小于 20cm。

5.4.7.6 斜眼掏槽的方向，在岩层层理或节理发育时，不得与其平行，应呈一定角度并尽量与其垂直。

5.4.7.7 周边炮眼与辅助的眼底应在同一垂直面上，保证开挖面平整。但掏槽炮眼应比辅助炮眼眼底深 10cm。

5.4.8 掏槽中空孔的孔数、布置型式及其与装药眼间距，应根据中空孔和装药眼的直径、深度、地质条件和装药眼起爆顺序等来确定。

当中空孔孔径为 10cm 时，深眼爆破可采用三中空孔型式或双中空孔型式；浅眼爆破可采取单中空孔型式。

5.4.9 装药型式应按掏槽眼孔径 r_h 与药卷径 r_c 的比值 D (不偶合系数) 确定，也可按两者的体积之比 D' 确定，D 值可取 2 左右， D' 值可取 4~6。

选用小直径药卷时，应防止爆炸中断现象，岩石很软时可采用爆管装药型式。眼深小于 2m 时，可采用空气柱装药型式。硬岩炮眼较深时，眼底可装一节加强药包，以保证爆破效果。

5.4.10 当采用全断面开挖或台阶开挖时，应采用导爆管、毫秒雷管起爆周边眼，不得采用火花起爆。开挖断面一次起爆时，如毫秒雷管的间隔时间小，周边眼的雷管应与内

圈炮眼的雷管跳段起爆，段炮眼之间起爆时差可取 50~100ms。

- 5.4.11 对内圈眼的爆破诸参数应加以严格控制，防止围岩过度龟裂。
- 5.4.12 导坑或局部开挖，宜采用浅眼爆破，防止振动对支撑结构产生不良影响。
- 5.4.13 当钻爆设计与围岩条件不相适应时，应及时调整使其合理。

5.5 钻爆作业

5.5.1 钻爆作业必须按照钻爆设计进行钻眼、装药、按线和引爆。

5.5.2 钻眼前应定出开挖断面中线、水平线和断面轮廓，标出炮眼位置，经检查符合设计要求后方可钻眼。

5.5.3 炮眼的深度、角度、间距应按设计要求确定，并应符合下列精度要求：

- (1) 掏槽眼 眼口间距误差和眼底间距误差不得大于 5cm。
- (2) 辅助眼 眼口排距、行距误差均不得大于 5cm。
- (3) 周边眼 沿隧道设计断面轮廓线上的间距误差不得大于 5cm，周边眼外斜率不得大于 5cm/m，眼底不超出开挖断面轮廓线 10cm，最大不得超过 15cm。

(4) 内圈炮眼至周边眼的排距误差不得大于 5cm，炮眼深度超过 2.5m 时，内圈炮眼与周边眼宜采用相同的斜率。

(5) 当开挖面凸凹较大时，应按实际情况调整炮眼深度，并相应调整药量，力求除掏槽眼外的所有炮眼底在同一垂直面上。

5.5.4 应根据钻爆设计要求选定钻眼效率高的钻眼机械。当采用液压式多臂凿岩台车作业时，应密切注意钻眼石屑的排除情况，保护好钻头。

5.5.5 钻眼完成后，应按炮眼布置图进行检查并做好记录，有不符合要求的炮眼应重钻，经检查合格后才能装药爆破。

5.5.6 装药前应将炮眼内泥浆、石屑吹洗干净。已装药的炮眼应及时用炮泥堵塞密封。周边眼的堵塞长度不宜小于 20cm，采用预裂爆破时，应从药卷顶端进行堵塞，不得只堵塞在眼口。

5.5.7 采用电力起爆时，除应按国家现行《土方和爆破工程施工及验收规范》有关规定执行外，尚应遵守下列规定：

- (1) 装药前电灯及电线应撤离开挖面，装药时可用投光灯、矿灯、风灯照明；
- (2) 起爆主导线应敷设在电线和管路的对侧，不得已设在同一侧时，与钢轨、管道等导电体的间距必须大于 1.0m，并悬空架设；
- (3) 多工序掘进依次放炮时，应检查主线的连接，确认起爆顺序无误后方可起爆；
- (4) 在地下水较多的地段，所用爆炸材料应能防水，连接线应采用塑料导线，敷设爆破网路时接头不得浸在水中，如不能避免时应加强接头的防水与绝缘处理。

5.5.8 周边眼宜一次同时起爆。当必须对爆破需加以控制时，周边眼可根据地质条件分组起爆。

5.5.9 爆破后，开挖断面应进行检查并符合下列要：

- (1) 欠挖或超挖量应符合本规范 5.3.1 条和 5.3.2 条的规定。
- (2) 周边炮眼痕迹保存率可按式(5.5.9)计算：
炮眼痕迹保存率可依岩质不同而有不同要求，即应满足：硬岩 $\geq 80\%$ ，中硬岩 $\geq 70\%$ ，软岩 $\geq 50\%$ 。周边炮眼痕迹应在开挖轮廓面上均匀分布。

(3) 两茬炮衔接时出现两现的台阶形误差不得大于 15cm。

5.5.10 开挖过程中，应监测围岩爆破扰动深度以及爆破震动对周围其他结构物的破坏程度。监测爆破震动应注意以下事项：

- (1)应考虑爆破方法、药量、距离、地质善等因素，确定爆破最大振幅、频率；
- (2)监测爆破对地面的震动影响，宜在铅垂方向及相正交的二个水平方向(其中一方向为爆破点方向)上同时测定；
- (3)监测爆破震动值的空间衰减情况时，至少应设3个测点。

5.5.11 钻爆机械和其他电动机械的使用、管理、维修和保养，应按有关规定办理，并遵守以下规定：

- (1)机械运转不得超过其最大负荷强度；
- (2)燃料、润滑油脂和用水应符合有关规定；
- (3)严禁对机械及零部件乱拆乱卸，互换装用；
- (4)新型机械使用前，应对操作人员进行技术培训，熟悉其性能，掌握机械的安全操作规程。

5.5.12 进行爆破时，所有有员应撤至安全地点爆破后必须待有害气体排出后方可进至开挖面工作。

5.6 掘进机开挖

5.6.1 掘进机开挖可采用任意断面掘进机和全断面掘进机。选择机种时，应由地质条件、隧道断面尺寸和形状、隧道长度等来确定。

5.6.2 任意断面掘进机开挖适用于抗压极限强度小于20MPa的围岩，全断面掘进机开挖适用抗压极限强度为20~100MPa的围岩，以下几种情况不宜采用掘进机开挖。

- (1)岩石抗压极限强度超过100MPa和裂隙发育(裂隙间隔一般为30~40cm)的围岩。
- (2)抗压极限强度在1.0MPa以下的断层破碎带或软弱泥岩以及湿胀性围岩。
- (3)石英、石榴石等硬质矿物成分含量过多的围岩。
- (4)地下渗水量较大围岩。

5.6.3 掘进机开挖前，应平整好场地，清除积水，创造良好的运转环境，当围岩干燥时，应在开挖面喷水安或设吸尘装置，防止粉尘扩散。

5.6.4 用钻臂式掘进机开挖时，应密切注意开挖面的稳定，并尽量减少超挖。用全断面隧道掘进机开挖时，应选择适合地质条件的刀具类型、刀盘转速及推力大小等；应进行周密的运转管理，防止蛇行，提高掘进速度。

5.6.5 应加强洞内车辆调度，统一管理安排好各工序的施作时间。机械运转时，非操作人员应退至安全地点；发现异常情况，应立即停机。

6 出渣与运输

6.1 装渣与卸渣

6.1.1 装渣设备应选用能在隧道开挖断面内发挥高效率的机械，其装渣能力应与每次开挖土石方量及运输车辆的容量相适应。

6.1.2 装渣作业应符合下列要求：

(1) 机械装渣作业应严格按操作规程进行，并不得损坏已有的支护及临进设备；

(2) 采用有轨式装渣打机械时，轨道应紧跟开挖面，调车设备应及时向前移动，或采用梭式矿车、转载机等设备进行边疆装渣；

(3) 漏斗装渣时，漏斗处应有防护设备和联络信号，装渣结束后漏斗处应加盖；

(4) 在台阶或棚架上向下扒渣时，渣堆应稳定，防止滑坍伤人

6.1.3 卸渣作业应符合下列要求：

(1) 应根据弃渣场地条件、弃渣打利用情况、车辆类型，妥善布置卸渣线，卸渣应在布置的卸渣线上依次进行；

(2) 卸渣宜采用自动卸渣或机械卸渣设备，卸渣时有专人指挥卸渣、平整；

(3) 卸渣场地应修筑永久排水设施和其他防护工程，确保地表径流不致冲蚀弃渣堆；

(4) 轨道运输卸渣时，卸渣码头应搭设牢固，并设挂钩、栏杆，轨道末端应设置可靠的挡车装置。

6.2 运输

6.2.1 运输方式分有轨式和无轨式，应根据隧道长度、开挖方法、机具设备、运量大小等选用。

6.2.2 长隧道施工时，应根据施工安排编制运输计划，统一调确保车辆运输安全，提高运输效率。

6.2.3 采用有轨式运输时，洞外应根据需要设置调车、编组、出渣、进料、设备整修等作业线路。洞内应铺设双道；在单道地段，错车线的有效长度应符合最长列车运行的要求。

6.2.4 有轨式运输的线路铺设标准和要求如下：

(1) 钢轨人力推运时，单位长度钢轨质量不应小于 8kg/m；机动车牵行时不宜小于 24kg/m。钢轨配件、夹板、螺栓必须按标配齐。

(2) 道岔型号，应与钢轨类型相配合。机动车牵引宜选用较的型号，并安装转辙器。

(3) 轨枕 间距不宜大于 70cm，长度为轨距加 60cm。轨枕的上下面应平整。在道岔处应铺设长轨枕。

(4) 平曲线半径 洞内不应小于机动车或车辆轴距的 7 倍，洞外不应小于 10 倍。

(5) 道床 可利用洞内不易风化的石碴作为道碴，厚度不宜于 15cm。

(6) 线间距 双道的线间距应保持两列车间净距大于 20cm，错车线外应大于 40cm。

(7) 车辆距坑道壁或支撑边缘的净距 应不小于 20cm，单道一侧的人行道宽度不宜小于 70cm。

(8) 纵坡 洞内人力推车时不宜大于 1.5%；机动车牵引时不宜大于 2.5%；皮带运输机输送时不宜大于 25%。洞卸渣线末端应设 10.5%~1.0%的土坡段。

(9) 线路铺设 轨距允许误差为：+6mm、-4mm，曲线地段应按规定加宽和设超高，必要

时加设轨距拉杆；直线地段应两轨平整。钢轨接头处应并排铺设两根枕木，保持平顺，连接配件应齐全牢固。

(10) 当采用新型轨式机械设备时，线路铺设标准应符合机械规格、性能的要求，保证运输安全。

6.2.5 有轨运输作业应遵守下列规定：

(1) 机动车牵引不得超载。

(2) 车辆装载的高度不超过斗车顶面 40cm，宽度不超过车宽。

(3) 列车连接必须良好，利用机车进行车辆的调车、编组和停留或人力推动车辆时，必须有可靠的制动装置，严禁溜放。

(4) 车辆在同方向行驶时，两组列车间的距离不得小于 60m；人力推斗车时，间距不得小于 20m。

(5) 在洞内施工地段、视线不良的弯道上或通过道岔和洞口平交道等处，机动车牵引的列车运行速度不宜超过 5km/h；其他地段在采取有效的安全措施后，最大速度不应超过 15km/h。

(6) 轨道旁的料堆，距钢轨外缘不应小于 50m，高度不大于 100m。

(7) 长隧道施工应有载人列车供施工人员上下班使用，并应制定保证安全的措施。

6.2.6 洞内采用无轨式自卸卡车运输时，运输道路宜铺设简易路面。道路的宽度及行车速度应符合下列要求：

(1) 单车道净宽不得小于车宽加 2m，并应隔适当距离设置错车道；双车净宽不得小于 2 倍车宽加 2.5m；会车视距宜为 40m。

(2) 行车速度，在施工作业地段和错车时不应大于 10km/h；成洞地段不宜大于 20km/h。

6.2.7 运输线路或道路应设专人按标准要求时行维修和养护，使其经常处于平整、畅通。线路或道路两侧的废渣和余料应随时清除。

6.2.8 运输车辆的性能必须良好，操作时应符合有关的安全管理规定。

6.2.9 先拱后墙法施工中，如采用卡口梁作运输栈道时，在卡口梁下应加设立柱支顶，以保证栈道上运输安全。

7 施工支护

7.1 一般规定

7.1.1 施工支护应配合开挖及时施作，确保施工安全。

7.1.2 选择支护方式时，应优先采用锚杆、喷射混凝土或锚喷联合作为临时支护。在软弱围岩中采用锚喷支护时，应根据地质条件结合辅助施工方法综合考虑。

7.1.3 对不同类别的围岩，应采用不同结构型式的施工支护。

7.1.3.1 VI类围岩可不支护，V类围岩支护时，宜采用局部喷混凝土或局部锚杆。为防止岩爆和局部落石，可局部加栓钢筋网。

7.1.3.2 IV~III类围岩可采用锚杆、锚杆挂网、喷混凝土或锚喷联合支护。III类围岩必要时可加设钢架。

7.1.3.3 II~I类围岩宜采用锚喷挂网的联合支护形式，并可结合辅助施工方法进行施工支护。

7.1.3.4 当地质条件差，围岩不稳定时，可采用构件支撑。

7.1.4 施作锚杆、喷射混凝土和构件支撑时，应作好记录。

7.2 锚杆施工

7.2.1 采用系统锚杆作为衬砌结构的一部分时，应符合设计要求和《公路隧道设计规范(JTJ026—89)》第7章有关规定。

7.2.2 锚杆安设作业应在初喷混凝土后及时进行。

7.2.3 锚杆施工和准备工作如下：

- (1) 检查锚杆材料、类型、规格、质量以及性能是否与设计相符；
- (2) 根据锚杆类型、规格及围岩情况选择钻孔机具；
- (3) 采用砂浆锚杆时，应按设计要求截取杆体，并整直、除锈和除油；
- (4) 采用楔缝式锚杆时，应检查杆体长度，楔缝、楔块、螺母与螺栓的尺寸和配合情况。

7.2.4 钻孔前应根据设计要求定出孔位，作出标记，孔位允许偏差为 $\pm 15\text{mm}$ 。

7.2.5 钻孔应符合以下要求：

7.2.5.1 钻孔应圆而直，钻孔方向宜尽量与岩层主要结构面垂直；

7.2.5.2 水泥砂浆锚杆孔径应大于杆体直径 15mm；其它型式锚杆孔径应符合设计要求。

7.2.5.3 钻孔深度应满足下列要求：

- (1) 水泥砂浆锚杆孔深允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ ；
- (2) 楔缝式锚杆孔深不应小于杆体有效长度，且不应大于杆体有效长度 30mm。
- (3) 树脂锚杆和早强药包锚杆孔深应与杆体长度配合恰当。

7.2.6 普通水泥砂浆锚杆的施工要求如下：

7.2.6.1 砂浆配合比(质量比)：水泥：砂：水宜为 1：1~1.5：(0.45~0.5)，砂的粒径不宜大于 3mm。

7.2.6.2 砂浆应拌和均匀，随拌随用，一次拌和的砂浆应在初凝前用完。

7.2.6.3 灌浆作业应遵守以下规定：

(1) 注浆开始或中途暂停超过 30min 时，应用水润滑灌浆罐及其管路。

(2) 注浆孔口压力不得大于 0.4MPa。

(3) 注浆管应插至距孔底 5~10cm 处，随水泥砂浆的注入缓慢匀速拔出，随即迅速将杆体插入，锚杆杆体插入孔内的长度不得短于设计长度的 95%。若孔口无砂流出，应将杆体拔重新注浆。

7.2.6.4 锚杆安设后不得随意敲击，其端部 3 天内不得悬挂重物。

7.2.7 早强水泥砂浆锚杆的施工要求如下：

(1) 早强水泥砂浆锚杆施工应遵守本节 7.2.6 条规定；

(2) 早强水泥砂浆锚杆采用硫铝酸盐早强水泥交掺早强剂；

(3) 注浆作业开始或中途停止超过 30min 时，应测定砂浆坍落度，其值小于 10mm 时，不得注入罐内使用。

7.2.8 楔缝锚杆(包括胀壳式锚杆)的施工要求如下

(1) 楔缝式锚杆安装前，应将杆体与部件(楔子、胀壳、托板)组装好；锚杆插入钻孔时楔子不得偏斜或脱落，锚头必须楔紧，保证锚固可靠；安设杆体后应立即上好托板，拧紧螺帽。锚杆施加预张拉力时，其拧紧力矩不应小于 100N·M。

(2) 打紧楔块时不得损坏丝扣。

(3) 楔缝锚杆一昼夜后应再次紧固，以后还要定期检查，如发现有松弛情况，应再行紧固。

(4) 楔缝式锚杆只能作为临时支护，如作为永久支护应补注水泥浆或水泥砂浆。

7.2.9 树脂锚杆的放工要求如下：

(1) 安装前应检查树脂卷质量，变质者不得使用。

(2) 安装时用杆体将树脂卷送入孔底，用搅拌器搅拌树脂时应缓缓推进杆体，搅拌时间一般为 30s。搅拌完毕后将孔口处杆件临时固定，15min 后可安装托板。

7.2.10 早强药包锚杆的施工应遵守本节 7.2.2 条、7.2.3 条、7.2.5 条规定。将药包推入孔内要配备专门工具，中途药包不得破裂。锚杆杆体插入时应注意旋转，使药包充分搅拌。

7.2.11 在有水地段，采用普通水泥砂浆锚杆时，如遇孔内流水，应在附近另行钻孔后再安设锚杆，亦可采用速凝早强药包锚杆或采用锚管锚杆向围岩压浆止水。

7.2.12 锚杆钻孔可采用一般凿岩机械当在土层中钻孔时，宜采用干式排渣的回旋式钻机。注浆可采用风动牛角泵，也可使用挤压式注浆泵。

7.2.13 锚杆宜采用 II 级钢筋制作。灌浆锚杆且采用螺纹钢筋，杆体直径以 16~22mm 为宜。楔缝锚杆的杆体直径以 16~25mm 为宜。

7.3 喷射混凝土

7.3.1 应根据对喷射混凝土的质量要求和作业条件的要求，以及现场的维修养护能力等选定喷射方式，同时应考虑对粉尘和回弹量的限制程度。

7.3.2 喷射混凝土、砂浆材料应符合下列要求：

(1) 水泥 应优先采用普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥；在软弱围岩中宜选用早强水泥。水泥标号不得低于 425 号，使用前应做强度复醒试验。

(2) 速凝剂 必须采用质量合格的产品。应注意保管，不使其变质。使用前应做速效效果试验，要求初凝不超过 5min，终凝不超过 10min。应根据水泥品种、水灰比等，通过试验确定速凝剂的最佳掺量，并应在使用时准备计量

(3) 砂 喷射混凝土应采用硬质洁净的中砂或粗砂，细度模数宜大于 2.5，含水率一般

为 5%~7%，使用前应一律过筛。

(4) 石料 采用坚硬耐久的碎石或卵石，粒径不宜大于 15mm，钢纤维喷射混凝土的碎石粒不应大于 10mm，且级配良好。当使用碱性速凝剂时，石料不得含活性二氧化硅。

(5) 水 水质应符合工程用水的有关标准，水中不得含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质。

(6) 采用钢纤维喷射混凝土时，其钢纤维可用普通碳素钢，其抗拉强度不得低于 308MPa，且不得有油渍及明显的锈蚀，钢纤维直径宜为 0.3~0.5mm，长度宜为 20~25mm，且不得大于 25mm。钢纤维含量宜为混合料质量的 3%~6%。钢纤维喷射混凝土强度等级不应低于 C20。

7.3.3 喷射混凝土配合比应通过试验选定，满足设计强度和喷射工艺的要求。也可参照下列数据选择：

灰骨比 1: 4~1: 5

骨料含砂率 45%~60%

水灰比 0.4~0.5

应增大混凝土与岩石的粘结力和减少回弹，初喷时，水泥：砂：石应取 1：2：(1.5~2)。

软弱围岩条件下可考虑提高喷射混凝土强度等级。

7.3.4 混合料应拌和均匀，随拌随用，并采用强制搅拌机在短时间内完成，严禁受潮。

7.3.5 喷射混凝土的配合比及拌和均匀性每班检查不得少于两次。喷射混凝土材料计量，一般应以质量计算，其允许误差为：

水泥与速凝剂各为 2%；砂与石料各为 5%。

7.3.6 喷射混凝土作业应符合下列要求：

(1) 在喷高压混凝土之前，应用水或高压风管将岩壁面的粉尘和物冲洗干净。

(2) 喷射中发现松动石块或遮挡喷射混凝土的物体时，应及时清除。

(3) 喷射作业应分段、分片由下而上顺序进行，每段长度不宜超过 6m。

(4) 一次喷射厚度应根据设计厚度和喷射部位确定，初喷厚度不得小于 4~6cm。

(5) 喷射作业应以适当厚度分层进行，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行。若终凝后间隔 1h 以上且初喷表面已蒙上粉尘时，受喷面应用高压气体、水清洗干净。岩面有较大凹洼时，应结合初喷予以找平。

(6) 回弹率应予控制，拱部不超过 40%，边墙不超过 30%，挂钢筋网后，回弹率限制可放宽 5%。应尽量采用经过验证的新技术，减少回弹率，回弹物不得重新用作喷射混凝土材料。

(7) 喷射混凝土终凝 2h 后，应喷水养护，养护时间一般不少于 7d。

7.3.7 喷射混凝土作业需紧跟开挖面时，下次爆破距喷混凝土作业完成时间的间隔，不得小于 4h。

7.3.8 冬季施工时，喷射作业区的气温不应低于 5℃。在结冰的层面上不得喷射混凝土。混凝土强度未达到 6MPa 前，不得受冻。混合料应提前运进洞内。

7.3.9 采用钢筋网喷射混凝土时，可在岩面喷射一层混凝土后再进行钢筋网的铺设，并在锚杆安设后进行。钢筋网的铺设应符合下列要求：

(1) 钢筋使用前应清除锈蚀；

(2) 钢筋网应随受喷面的起伏铺设，与受喷面的间隙一般不大于 3cm；

(3) 钢筋网应与锚杆或其他固定装置连接牢固，在喷射混凝土时不得晃动。

7.3.10 采用钢架喷射混凝土时，钢架的型式、制作和架设应符合下列要求：

(1) 钢架支撑可选用 H 型钢、工字钢、U 型钢、钢轨、钢管或钢筋格栅等制作。钢架如工尺寸等应符合设计要求。

(2) 钢架支撑必须具有必要的强度和刚度，刚架的设计强度，应保证能单独承受 2~4m 高的松动岩柱重量其形状应与开挖断面相适应。

(3) 支撑接应由螺栓连接牢靠，当作为衬砌骨架时，接头应焊接。

(4) 格栅钢架的主筋材料应用 II 级钢筋或 I 级钢筋，直径不小于 22mm，联系钢筋可根据具体情况选用。

(5) 钢管钢架应在钢管上设置注浆孔，架设后应注满水泥砂浆。

(6) 钢架应按设计位置架设，钢架之间必须用纵向钢筋联接，拱脚必须放在牢固的基础上。钢架与围岩应尽量靠近，但应留 2~3cm 间隙作混凝土保护层。当钢架和围岩之间间隙过大时应设垫块。如钢架支撑作为衬砌混凝土骨架时，应用预制混凝土资助板或填块固定牢靠。

(7) 钢架应垂直于隧道中线，上下、左右允许偏差 ± 5 cm，钢架倾斜度不得大于 2° 。拱脚标高不足时，不得用土、石回填，而应设置钢板进行调整必要时可用混凝土加固基底，拱脚高度应低于上半断面底线 15~20cm，当拱脚处围岩承载力不够时，应向围岩方向加大拱脚接触面积。

(8) 当钢架喷射混凝土作为永久性支护结构时，钢架与围岩之间的间隙必须用喷射混凝土充填密实，间隙过大时，可用钢楔或混凝土楔块顶紧，其点数单侧不得少于 8 个。喷射混凝土应由两侧拱脚向上对称喷射，并将钢架覆盖。

7.3.11 有水地段喷射混凝土时应采取以下措施：

(1) 当涌水点不多时，用开缝摩擦锚杆进行导水处理后再喷射；当涌水范围大时，设树枝状排水导管后再喷射；当涌水严重时，可设置泄水孔，边排水边喷射。

(2) 改变配合比，增加水水泥用量先喷干混合料，待其与涌水融合后，再逐渐加水喷射。喷射时由远而近，逐渐向涌水点逼近，然后在涌水点安设导管，将水引出，再在导管附近喷射。

7.3.12 砂层地段喷射混凝土时应采取以下措施：

(1) 紧中砂层铺挂细钢筋网，并用 $\phi 22$ mm 环向钢筋压紧；

(2) 在正式喷射前应适当减小喷射机的工作气压，先喷射一层加大速凝剂掺量的水泥帮派浆，再喷射混凝土。

7.3.13 喷射混凝土施工配套机具应符合以下要求：

(1) 机具密封性能良好；

(2) 输送连续、均匀、允许输送的最大骨料粒径为 25mm；

(3) 输送距离(干混合料)应满足使用要求；

(4) 输料管应个有良好的耐磨性能；

(5) 生产能力(干混合料)为 $3\sim 5\text{m}^3/\text{h}$ ；

(6) 混合料的拌和应休用强制式搅拌机；

(7) 供水设施应保证喷头处的水压为 0.15 ~0.2MPa。

7.3.14 喷射机使用过程中应遵守下列规定：

(1) 对喷射机应随时保养维修，使之经常处于不漏气、不堵塞的良好工作状态。

(2) 喷射机的工作气压应控制在 0.1~0.15MPa。可根据喷出料束情况适当调节气压。喷头处的水压应大于气压(干时节时水压应比气压高 0.05 ~0.1 MPa 左右)。

(3) 喷头与受喷面宜垂直，距离应与工作气压相适应，以 0.6~1.2 m 为宜。有钢筋网时，喷射距离可小于 0.6m，喷射角度可稍偏一些，喷射混凝土应覆盖钢筋网 2cm 以上。

(4) 严格控制水灰比，喷到岩面上的混凝土应湿润光泽，粘塑性好，无干斑或滑落流淌现象。

(5) 控制喷层厚度，使其均匀，操作时喷头应不停且缓慢地作横向环形移动，循序渐进。

(6) 作业完成后，喷射机和输料管内的积料必须及时清除干净。

(7)突然断水或断料时，喷头应迅速移离喷射面，严禁用高压气体、水冲击尚未终凝的混凝土。

(8)喷射作业人员必须穿戴安全防护用品。

7.4 锚喷支护的质量要求

7.4.1 喷射混凝土抗压强度检查应按下列要求进行：

7.4.1.1 隧道(2车道隧道)每10延米，至少在拱脚部和边墙各取一组试样，材料或配合比变更时另取一组，每组至少取三个试块进行抗压试验。

7.4.1.2 满足以下条件者为合格，否则为不合格。

(1)同批(指同一配合比)试块的抗压强度平均值，不低于设计强度或C20。

(2)任意一组试块抗压强度平均值，不得低于设计强度的80%。

(3)同批试块为3~5组时，低于设计强度的试块组数不得多于1组；试块为6~16组时，不得多于2组；17组以上，不得多于总组数的15%。

7.4.1.3 检查不合时，应查明原因并采取措施，可用加厚喷层或增设锚杆的办法予以补强。

7.4.2 喷层与围岩粘结情况的检查，可用锤敲击，如有空响应凿除喷层，洗净重喷。必要时应进行粘结力测试。

7.4.3 喷层厚度检查可分喷射过程和支护完成后两个阶段进行，喷射时可插入长度比设计厚度长5cm的铁丝，纵、横向1~2m设一根，作施工控制用。支护完成后每10延米至少检查一个断面，再从拱顶中线起每隔2m凿孔检查一个点。每个断面拱、墙分别统计，全部检查孔处喷层厚度应有60%以上不小于设计厚度，平均厚度不得小于设计厚度，最小厚度不小于设计厚度1/2。

7.4.4 当发现喷混凝土表面有裂缝、脱落、露筋、渗透漏水等情况时，应予修补，凿除喷层重喷或进行整治。

7.4.5 锚杆安设后每300根至少选择3根作为1组进行抗拔力试验，围岩条件或原材料变更时另作1组。同组锚杆28天的抗拔力平均值应满足设计要求；每根锚杆的抗拔力最低值不得小于设计设计值的90%。

7.4.6 锚喷支护施工时，一般应做以下几项施工记录：

(1)锚喷支护施工记录(见附录C)；

(2)喷射混凝土强度、厚度、外观尺寸，锚杆锚固力或抗拔力等项检查和试验应制定相应报告表，准确记录(锚喷支护有关的试验和测定方法见附录D)；

(3)按设计要求进行的监控量测记录；

(4)在地质条件复杂地段应提供地质素描资料；

(5)隐蔽工程报告表。

7.5 构件支护

7.5.1 构件支护适用于分部开挖、导坑开挖。

7.5.2 构件支护应根据围岩条件、隧道开挖断面的尺寸、埋深、开挖方式、开挖方法、构件支护的施作时间等进设计。

7.5.3 构件支护可使用型钢、木、钢木混合及钢筋混凝土预制构件等材料。

7.5.4 构件支护的结构应符合下列要求：

7.5.4.1 支护结构型式及其接头，应简单牢固，方便装拆；构件应多次周转使用，并

尽可能定型化。

7.5.4.2 构件支护相互之间应用纵撑连接牢固，构成整体。

7.5.4.3 当构件支护施工区段很短或可能发生纵向荷载时。应设置纵向斜撑，以防支护倾倒。

7.5.5 钢架支护的结构型式及架设可按本章 7.3.10 条办理。

7.5.6 木支护主要用于临时性应急支护，使用时应符合下列要求：

(1) 木支护的梁、柱等主要圆木杆件，细头直径应不小于 20cm(跨度大于 4m 时应不小于 25cm)，其其连接杆细头直径可采用 12~15cm；木板厚度不宜小于 5cm。

(2) 支护应采用质地坚固、有弹性、无节疤之木料。脆硬的木料不宜使用，腐配及的木材严禁使用。

7.6 构件支护的架设

7.6.1 构件支护的架设应符合下列要求：

7.6.1.1 应根据中线、水平、坑道断面和预留沉落量等将构件支护架设在中线方向的垂直面上，并力求整齐。同时，支护之间应纵向连接牢固，构成整体。

7.6.1.2 支护与围岩间用板、楔块或背柴顶紧，并填塞密实。

7.6.1.3 应根据地质条件采取不致使支护产生下沉的措施。支护柱脚下虚渣必须清除，地层松软时应加设垫板或垫托梁，必要时可用混凝土加固地基。

7.6.1.4 导坑支护可用半框架式。松软地层具有底压力时应增设底梁，在洞口的导坑支护排架，应伸出洞外 3~5m 以上，并设纵护予以加固。

7.6.1.5 构件支护构架的架设间距，宜取 80~120cm，松软破碎地段可适当加密。

7.6.1.6 在开挖漏斗时，应对该处下导坑支护进行临时加固，松软地层中的漏斗孔采用框架支护，并将框架外四周空隙填塞紧密。

7.6.1.7 拱部扩大采用扇形构架支护时，应配合开挖分部架设，并随挖随护。如采用纵梁，应考虑施作衬砌时便于拆除，不得灌筑于衬砌之中。

7.6.2 抑拱开挖前，应架设横撑顶紧两侧墙脚，防上边墙内挤。横护间距可采用 1.0~1.2m，横撑应待仰拱混凝土达到设计强度 70%时才能拆除。

7.6.3 采用先拱后墙法施工时，应符合下列要求：

7.6.3.1 在洞口地段和松软地层开挖中层或落底前，必须用卡口梁加木楔顶紧拱脚，其间距一般为 120cm，或在拱脚设锚杆，防止拱脚内移。

7.6.3.2 在松软破碎的围岩中挖马口，应设置斜撑、立柱等支顶拱脚，马口岩壁临空面均应撑稳。当岩层层理向隧道内倾斜时，应采取措施防止岩层顺层滑坍。

7.6.4 构件支护的加强及抽换应满足下列要求：

7.6.4.1 支护应有专人经常进行检查，特别是每次放炮后。如发现杆件有破裂、倾斜、弯扭、变形以及接头松脱、填塞漏空等异常时，应立即用安全而可靠的方法进行加固处理。

7.6.4.2 支护变形非常明显必须抽换时，应从末端起逐排抽换。并应本着“先顶后拆”的原则进行，防上围岩松动坍塌。

7.6.4.3 如施工中短期停止工作时，应将各部支护架设至开挖面。

7.6.4.4 开挖中层或落底前需拆除下导坑支护时，应由里向外倒退拆除。

7.6.5 各部分支护的架设、修复和拆除，应由专人及时进行检查和验收。

8 衬 砌

8.1 一般规定

8.1.1 隧道衬砌施工时，其中线、标高、断面尺寸和净空大小均须符合设计要求。

衬砌材料的标准、规格及要求等，应符合交通部现行的《公路隧道设计规范(JTJ026—89)》的规定。

8.1.2 模板放样时，允许将设计的衬砌轮廓线扩大 5cm，确保衬砌不侵入隧道建筑限界。采用复合式衬砌时，应遵守本节 8.1.5 条规定。

8.1.3 整体式衬砌施工中，发现围岩对衬砌有不良影响的硬软岩分界处，应设置沉降缝；II~I 类围岩，距洞口约 50m 范围内，必要时可每隔 10m 左右设置一个沉降缝。在严寒地区，整体式衬砌、锚喷衬砌或复合衬砌，均应在洞口和易受冻害地段设置伸缩缝。

衬砌的施工缝应与设计的沉降缝、伸缩缝结合布置，在有地下水的隧道中，所有施工缝、沉降缝和伸缩缝均应进行防水处理。

8.1.4 施工中发现工程地质及水文地质情况与设计文件不符，需进行变更设计时，应履行正式变更设计手续。

8.1.5 采用锚喷支护和复合衬砌时，应做好以下工作：

(1) 复核隧道工程地质和水文地质情况，分析围岩稳定性特点。根据地质情况的变化及围岩的稳定状态，制订施工技术措施或变更施工方法。

(2) 对已完成支护地段，应继续观察隧道稳定状态，注意支护的变形、开裂、侵入净空等现象，及时记录，作出长期稳定性评价。

8.1.6 凡属隐蔽工程，经质量检查验收合格后，方可进行隐蔽工程作业。

8.2 拱(墙)架与模板

8.2.1 拱(墙)架的间距应根据衬砌地段的围岩情况、隧道宽度、衬砌厚度及模板长度确定，一般可取 1m，最大不应超过 1.5m。

8.2.2 衬砌所用的拱架、墙架和模板，宜采用金属或其它新型模板结构，应式样简单、装拆方便、表面光滑、接缝严密，有足够的刚度和稳定性。

施工中，根据不同施工方法，可使用衬砌模板台车或移动式整体模架，并配备混凝土泵或混凝土输送器浇筑衬砌。中、小隧道可使用普通钢模板或木模板。

围岩压力较大时，拱架、墙架应增设支撑或缩小间距，拱架脚应铺木板或木方。

8.2.3 架设拱、墙架和模板，应位置准确，连接牢固，严防走动，并做好以下工作：

(1) 拱架、曲墙架、使用前应先在样台上试拼装，重复使用时应注意检查，如有变形应及时修整；

在拱架外缘沿径向用支撑与围岩顶紧，以防浇筑过程中拱架变形；

(2) 架设前应按隧道中线、标高及允许施工误差和预留沉落量，对开挖断面进行复核，围岩突出部位应清除、整修；

(3) 模板接头应整齐平顺；

(4) 挡头板应按衬砌断面制作，挡头板与岩壁间隙应嵌堵紧密。

8.2.4 拱架应在垂直于隧道中线方向架设。拱架的夹板、螺栓、拉杆等应安装齐全。拱架(包括模板)标高应预留沉落量，其数值可按表 8.2.4 采用。施工中应随时测量、调整，使其符合要求。

拱架(包括模板)预留沉落量

表 8.2.4

围岩分类	IV及IV以上	III	II	I
预留沉落量(cm)	≤5	5~10	10~15	15~20

注：①上述数值适用于先拱后墙法，当采用先墙后拱法时均不宜大于 5cm；

②本表不包括施工误差。

8.2.5 立墙架时应做好以下工作：

8.2.5.1 先墙后拱法施工，应按隧道中线确定墙架位置。

8.2.5.2 先拱后墙施工，经复核检查拱部中线及净空无误时，可由拱脚挂线定位。

8.2.5.3 立墙架时应应对墙基标高进行检查。

8.2.5.4 不得利用墙架兼作脚手架，防止模板走动变形。

8.2.6 移动拱架模板时，应使模板完全脱离混凝土表面，方可移到规定的位置；移动式拱架所用轨道其轨面不得出现下沉。

8.2.7 拆除拱架、墙架和模板，应符合以下要求：

(1) 不承受外荷载的拱、墙，混凝土强度应达到 5.0MPa 或在拆模时混凝土表面和棱角不被损坏并能承受自重；

(2) 承受围岩压力较大的拱、墙，封顶和封口的混凝土应达到设计强度 100%；

(2) 承受围岩压力较小的拱、墙，封顶和封口的混凝土应达到设计强度 70%。

8.3 模筑衬砌

8.3.1 衬砌混凝土的配合比应满足设计要求。

8.3.2 混凝土拌和后，应尽快浇筑。浇筑时应使混凝土充满所有角落并充分进行捣固。混凝土运送时，原则上应采用混凝土搅拌运输车，采用其它方法运送时，应确保混凝土在运送中不产生离析、损失及混入杂物。已经达到初凝的剩余混凝土，不得重新搅拌使用。

8.3.3 浇筑混凝土节段长度应根据围岩状况、施工方法和机具设备能力等确定。

8.3.4 拱圈施工应符合下列要求：

8.3.4.1 拱圈浇筑顺序应从两侧拱脚向拱顶对称进行，间歇及封顶的层面应成辐射状。

8.3.4.2 分段施工的拱圈合拢宜选在围岩较好处。

8.3.4.3 先拱后墙法施工的拱圈，混凝土浇筑前应将拱脚支承面找平。石质隧道支承面可用碎石垫平，上铺 2~3cm 砂子，用水洒湿。土质隧道宜横铺一层 5cm 厚木板。

8.3.4.4 与辅助坑道交汇处的拱圈应置于坑道两侧基岩上。

8.3.4.5 钢筋混凝土衬砌先做拱圈时，应在拱脚下预留钢筋接头，使拱墙连成整体。

8.3.5 边墙施工应符合下列要求：

8.3.5.1 浇筑混凝土前，必须将基底石渣、污物和基坑内积水排除干净，严禁向有积水的基坑内倾倒混凝土干拌和物。墙基松软时，应做加固处理。

8.3.5.2 边墙扩大基础的扩大部分及仰拱的拱座，应结合边墙施工一次完成。

8.3.5.3 采用片石混凝土时，片石应距模板 5cm 以上，片石间距应大于粗骨料的最大粒径，并应分层掺放，捣固密实。

8.3.5.4 采用先拱后墙法施工时，边墙混凝土应尽早浇筑，以避免对拱圈产生不良影响。墙顶刹尖混凝土应捣实。

8.3.6 拱圈封顶应随拱圈的浇筑及时进行。墙顶封口应留 7~10cm，在完成边墙灌注 24h 后进行，封口前必须将拱脚的浮渣清除干净，封顶、封口的混凝土均应适当降低水灰比，并捣固密实，不得漏水。

8.3.7 仰拱施工应符合下列要求：

(1) 应结合拱圈施工抓紧进行, 使结构尽快封闭;

(2) 仰拱浇筑前应清除积水、杂物、虚渣等;

(3) 应使用拱架模板浇筑仰拱混凝土。

8.3.8 拱墙背后的空隙必须回填密实, 并按下列要求与衬砌同时施工。

(1) 先拱后墙法施工时, 拱脚以上 1m 范围内的超挖, 应用与拱圈相同标号混凝土同时浇筑。

(2) 边墙基底以上 1m 范围内超挖, 宜用与边墙相同标号混凝土同时浇筑。

(3) 其余部位(包括仰拱), 超挖在允许范围内可用与衬砌相同标号混凝土同时浇筑; 超挖大于规定时, 宜用片石混凝土或 10 号浆砌片石回填, 不得用渣体随意回填, 严禁片石侵入衬砌断面(或仰拱断面)。当围岩稳定并干燥无水时, 可先用干砌片石回填, 再在衬砌背后压浆。仰拱以上与路面基层以下部分应用浆砌片石或低标号混凝土回填。

8.3.9 隧道通过含有侵蚀性地下水地段时, 应对地下水作水质分析, 衬砌应采用抗侵蚀性混凝土。

8.3.10 衬砌浇筑完成拆除支架时, 如围岩压力较大, 应先支顶后拆除。衬砌断面以外的支撑木和背板应拆除。塌方地段的衬砌背后未能取出的木料, 应做记录附于竣工文件。塌方地段的衬砌应重新设计。

8.3.11 衬砌拆模后应立即养护, 养护时间一般为 7~14d。寒冷地区, 应作好衬砌的防寒保温工作。

8.3.12 衬砌采用防水混凝土时, 施工中应满足下列要求:

(1) 砂石集料应符合级配要求。水泥标号不低于 425 号;

(2) 水灰比不应大于 0.55, 严寒地区不应大于 0.50; 最小水泥用量不应少于 $200\text{kg}/\text{m}^3$, 拱顶封顶部分不应少于 $350\text{kg}/\text{m}^3$;

(3) 冬季施工的防水混凝土, 应掺用加气剂降低原有的水灰比, 并按冬季施工有关要求施工;

(4) 调制混凝土拌和物时, 水泥重量偏差不得超过 $\pm 2\%$, 集料重量偏差不得超过 $\pm 5\%$, 水及加气剂重量偏差不得超过 $\pm 2\%$;

(5) 混凝土浇筑前, 必须清除模板上泥污杂物, 且须用水湿润, 确保模板不漏浆;

(6) 有承压水时应先引流再浇筑防水混凝土。

8.4 二次衬砌

8.4.1 二次衬砌的施作, 应在围岩和锚杆支护变形基本稳定后进行。二次衬砌和仰拱的施作时间按本规范 9.3.5 条执行。围岩变形较大, 流变特性明显时, 应加强初期支护并及早施作仰拱和二次衬砌。

8.4.2 二次衬砌施工前应作好下列准备工作:

(1) 衬砌所用原材料的质量及其贮运方式应符合有关的规定;

(2) 应做好地下水引排工作, 仰拱及基础部位的虚渣及积水必须清理干净;

(3) 防水层或喷层表面粉尘应清除并洒水湿润;

(4) 施工用机具、拱架、模板台车等必须经过检查, 并进行机械试运转。

8.4.3 灌注作业应符合下列要求:

(1) 由下向上依次灌注。当设计规定需先灌注拱圈时, 应采取防止拱脚下沉措施, 必要时, 可架设纵向托梁;

(2) 隧道有仰拱时, 宜先灌注仰拱。每段施工长度应根据地质情况确定;

(3) 初期支护与二次衬砌间的空隙, 必须回填密实, 并应符合本章 8.3.8 条规定。

8.4.4 拌制混凝土的最短时间(自全部材料装入时起至卸料时止的时间),应符合表 8.4.4 规定。

混凝土的最小拌制时间(s) 表 8.4.4

混凝土坍落 (cm)	搅拌机型	搅拌机容积(L)		
		<400	400~1000	>1000
<3	自落式	90	120	150
	强制式	60	90	120
≥3	自落式	90	90	120
	强制式	60	60	90

注: ①入机拌和量不应超过搅拌机规定容量的 10%。

②掺加减水剂、加气剂等时,宜延长拌和时间。

8.4.5 采用泵送混凝土时,应按下列要求办理:

- (1)混凝土泵应连续运转;
- (2)输送管道宜直,转弯宜缓,接头应严密;
- (3)泵送前应润滑管道,润滑时采用按设计配合比拌制的水泥浆或按骨料减半配制的混凝土进行。

8.4.6 混凝土应分层灌筑,每层灌筑的高度、次序、方向应根据搅拌能力、运输距离、灌筑速度、洞内气温和振捣等因素确定。

8.4.7 二次衬砌的混凝土应连续灌筑,不得间断时,其间歇时间不应大于表 8.4.7 规定。

浇筑混凝土允许间歇时间(min) 表 8.4.7

浇筑气温 t(°C)	材 料	
	普通硅酸盐水泥	矿渣火山灰硅酸盐水泥
20~30	90	120
12~20	135	180
5~10	195	—

注:表中规定的时间未考虑外加剂作用及其它特殊施工和混凝土本身温度的影响。

8.4.8 混凝土养护,应遵守下列规定:

(1)采用硅酸盐水泥拌制的混凝土,其养护时间不得小于 7d;掺有外加剂或有抗渗要求的混凝土,不得少于 14d。

(2)加覆盖物或洒水。养护用水的温度应与环境温度基本相同。

8.4.9 二次衬砌混凝土其强度达到 2.5MPa 时,方可拆模。

8.4.10 防止二次衬砌混凝土开裂,可采取以下措施:

- (1)宜采用较大的骨灰比,降低水灰比,合理选用外加剂;
- (2)合理确定分段灌筑长度及浇筑速度;
- (3)混凝土拆模时,内外温差不得大于 20°C;
- (4)加强养护,混凝土温度的变化速度不宜大于 5°C/h;
- (5)根据设计施作防水隔离层。

9 监控量测

9.1 一般规定

9.1.1 采用复合式衬砌的隧道，必须将现场监控量测项目列入施工组织设计，并在施工中认真实施。

9.1.2 量测计划应根据隧道的围岩条件、支护类型和参数、施工方法以及所确定的量测目的进行编制。同时应考虑量测费用的经济性，并注意与施工的进程相适应。

9.1.3 监控量测应达到以下目的：

- (1)掌握围岩和支护的动态信息并及时反馈，指导施工作业；
- (2)通过对围岩和支护的变位、应力量测，修改支护系统设计。

9.1.4 采用复合式衬砌的隧道，施工、设计单位必须紧密配合，共同研究，分析各项量测信息，确认或修正设计参数。

9.2 量测内容与方法

9.2.1 复合式衬砌的隧道应按表 9.2.1 选择量测项目。表 9.2.1 中的 1~4 项为必测项目；5~11 项为选测项目，应根据围岩条件、地表沉降要求等确定。

隧道现场监控量测项目及量测方法

表 9.2.1

序号	项目名称	方法及工具	布置	量测间隔时间			
				1~15d	16d~一个月	1~3个月	大于3个月
1	地质和支护状况观察	岩性、结构面产状及支护裂缝观察或描述,地质罗盘等	开挖后及初期支护后进行	每次爆破后进行			
2	周边位移	各种类型收敛计	每 10~50m 一个断面, 每断面 2~3 对测点	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
3	拱顶下沉	水平仪、水准尺、钢尺或测杆	第 10~50m 一个断面	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
4	锚杆或锚索内力及抗拔力	各类电测锚杆、锚杆测力计及拉拔器	每 10m 一个断面, 每个断面至少做三根锚杆	—	—	—	—
5	地表下沉	水平仪、水准尺	每 5~50m 一个断面, 每个断面至少 7 个测点, 每隧道至少 2 个断面。中线每 5~20m 一个测点	开挖面距量测断面前后 < 2B 时, 1~2 次/天。 开挖面距量测断面前后 < 5B 时, 1 次/2 天。 开挖面距量测断面前后 > 5B 时, 1 次/周。			
6	围岩体内位移(洞内设点)	洞内钻孔中安设单点、多点杆式或钢丝式位移计	每 5~100m 一个断面, 每断面 2~11 个测点。	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
7	围岩体内位移(地表设点)	地面钻孔中安设各类位移计	每代表性地段一个断面, 每断面 3~5 个钻孔	同地表下沉要求			
8	围岩压力及两层支护间压力	各种类型压力盒	每代表性地段一个断面, 每断面宜为 15~20 个测点	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
9	钢支撑内力及外力	支柱压力计或其他测力计	每 10 榀钢拱支撑一对测力计	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
10	支护、衬砌内应力、表面应力及裂缝量测	各类混凝土内应变计、应力计、测缝计及表面应力解除法	每代表性地段一个断面、每断面宜为 11 测点	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
11	围岩弹性波测试	各种波仪及配套探头	在有代表性地段设置	—	—	—	—

注: B 为隧道开挖宽度

9.2.2 爆破开挖后应立即进行工程地质与水文地质状况观察和记录, 并进行地质描述。地质变化处和重要地段, 应有照片记载, 量测记录表见附录 E。

初期支护完成后应进行喷层表面的观察和记录，并进行裂缝描述。

9.2.3 隧道开挖后应及时进行围岩、初期支护的周边位移量测、拱顶下沉量测；安设锚杆后，应进行锚杆抗拔力试验。当围岩差、段面大或地表沉降控制严时宜进行围岩体内位移量测和其它量测。位于Ⅲ~Ⅰ围岩中且覆盖层厚度小于40m的隧道，应进行地表沉降量测。

9.2.4 量测部位和测点布置，应根据地质条件、量测项目和施工方法等确定。

9.2.5 测点应距开挖面2m的范围内尽快安设，并应保证爆破后24h内或下一次爆破前测读初次读数。

9.2.6 测点的测试频率应根据围岩和支护的位移速度及离开挖面的距离确定。

9.2.7 现场量测手段，应根据量测项目及国内量测仪器的现状来选用。一般应尽量选择简单可靠、耐久、成本低、稳定性好，被测量的物理概念明确，有足够大的量程，便于进行分析和反馈的测试仪器。

9.3 量测数据处理与应用

9.3.1 应及时对现场量测数据绘制时态曲线(或散点图)和空间关系曲线。

9.3.2 当位移-时间曲线趋于平缓时，应进行数据处理或回归分析，以推算最终位移和掌握位移变化规律。

9.3.3 当位移-时间曲线出现反弯点时，则表明围岩和支护已呈不稳定状态，此时应密切监视围岩动态，并加强支护，必要时暂停开挖。

9.3.4 隧道周壁任意点的实测相对位移值或用回归分析推算的总相对位移值均应小于表9.3.4所列的数值。当位移速率无明显下降，而此时实测位移值已接近该表所列数值，或者喷层表面出现明显裂缝时，应立即采取补强措施，并调整原支护设计参数或开挖方法。

隧道周边允许相对位移值(%)

表 9.3.4

围岩类别	覆盖层厚度(m)		
	<50	50~300	>300
Ⅳ	0.10~0.30	0.20~0.50	0.40~1.20
Ⅲ	0.15~0.50	0.40~1.20	0.80~2.00
Ⅱ	0.20~0.80	0.60~1.60	1.00~3.00

注：①相对位移是指实测位移值与两测点间距离之比。或拱顶位移实测值与隧道宽度之比。

②脆性围岩取表中较小值，塑性围岩取表中较大值。

③Ⅰ、Ⅴ、Ⅵ类围岩可按工程类比初步选定允许值范围。

④本表所列数值可在施工过程中通过实测和资料积累作适当修正。

9.3.5 二次衬砌的施作应在满足下列要求时进行：

- (1)各测试项目的位移速率明显收敛，围岩基本稳定；
- (2)已产生的各项位移预计总位移量的80%~90%；
- (3)周边位移速率小于0.1~0.2mm/d，或拱顶下沉速率小于0.07~0.15mm/d。

9.4 量测管理

9.4.1 隧道现场监控量测应成立专门量测小组，由施工单位或委托其单位承担量测任务。

9.4.2 量测组负责测点埋设、日常量测、数据处理和仪器保养维修工作，并及时将量

测信息反馈于施工和设计。

9.4.3 现场监控量测应按量测计划认真组织实施，并与其它施工环节紧密配合，不得中断工作。

9.4.4 各预埋测点应牢固可靠，易于识别并妥善保护，不得任意撤换和破坏。

9.4.5 竣工文件中应包括下列量测资料：

- (1) 现场监控量测计划；
- (2) 实际测点布置图；
- (3) 围岩和支护的位移-时间曲线图、空间关系曲线图以及量测记录汇总表；
- (4) 经量测变更设计和改变施工方法地段的信息反馈记录；
- (5) 现场监控量测说明。

10 防水和排水

10.1 一般规定

10.1.1 隧道施工防排水设施应与营运防排水工程相结合。

10.1.2 隧道施工防排水工作应按防、截、排、堵相结合的综合治理原则进行。

10.1.3 隧道施工前应根据工程地质、水文地质资料制定防排水方案。施工中应按现场施工方法、机具设备等情况，选择不妨碍施工的防排水措施。

10.1.4 隧道进洞前应先做好洞顶、洞口、辅助坑道口的地面排水系统，防止地表水的下渗和冲刷。

10.1.5 施工中应对洞内的出水部位、水量大小、涌水情况、变化规律、补给来源及水质成分等做好观测和记录，并不断改善防排水措施。

10.1.6 当防排水设计不符合实际情况，设计中有遗漏或施工中有增减时，施工单位应及时提请变更设计。

10.1.7 隧道防排水工程施工质量应符合下列要求：

10.1.7.1 一般公路隧道

(1) 拱部、边墙不滴水。

(2) 路面不冒水、不积水，设备箱洞处不渗水。

(3) 洞内排水系统不淤积、不堵塞，确保排水通畅。

(4) 严寒地区隧道衬砌背后不积水，路面、排水沟不冻结。

10.1.7.2 汽车专用公路隧道

隧道拱部、墙部、路面、设备洞、车行横通道、人行横通道等均不渗水。

10.2 施工防排水

10.2.1 隧道两端洞口及辅助坑道洞(井)口应按设计要求及时做好排水系统；覆盖较薄和渗透性强的地层，地表积水应及早处理，并符合以下要求：

(1) 勘探用的坑洼、探坑等应回填粘土，并分层夯实；

(2) 洞顶上方如有沟谷通过且沟谷底部岩层裂缝较多，地表水渗漏对隧道施工有较大影响时，应及时用浆砌片石铺砌沟底，或用水泥砂浆勾缝、抹面；

(3) 洞顶附近有井、泉、池沼、水田等，应妥善处理，不宜将水源截断、堵死；

(4) 清理洞附近杂草和树丛，开沟疏导封闭积水洼地，不得积水；

(5) 洞顶排水沟应与路基边沟顺接组成排水系统；

(6) 洞外路堑向隧道内为下坡时，路基边沟应做成反坡，向路堑外排水，并宜在洞口3~5m位置设置横向截水设施，拦截地表水流入洞内；

(7) 施工废水应通过管路及不透水的沟槽泄到隧道范围以外。

10.2.2 洞内顺坡排水，其坡度应与线路坡度一致，并满足下列要求：

(1) 水沟断面应满足排除隧道中渗漏水 and 施工废水的需要；

(2) 水沟位置宜结合结构排水工程设在隧道两侧或中心，并避免妨碍施工；

(3) 经常清理排水设施，确保水路畅通。

10.2.3 洞内反坡排水，应采取下列措施：

(1) 必须采取机械抽水；

(2) 排水方式可根据距离、坡度、水量和设备等情况选用排水水沟或管路，或分段接

力或一次将水排出洞外；

(3) 视线路坡度分段开挖反坡排水沟。在每段下坡终点开挖集水坑，使水流至坑内，再用水泵将水抽到下段水沟流入下一个集水坑，这样逐段前进，将水排出洞外。反坡水沟坡度不宜小于 0.5%；

(4) 隧道较短时，可在开挖面附近开挖集水井，安装水泵，将水一次送出洞外；

(5) 沟管断面、集水坑(井)的容积按实际排水量确定；

(6) 抽水机的功率应大于排水量所需功率 20%以上，并有备用抽水机；

(7) 做好停电时的应急排水准备工作。

10.2.4 洞内有大面积渗漏水时，宜采用钻孔将水集中汇流引入排水沟。其钻孔位置、数量、孔径、深度、方向和渗水量等应作详细记录，以便在衬砌时确定拱墙背后排水设施的位置。

10.2.5 洞内涌水或地下水位较高时，可采用井点降水法和深井降水法处理。

10.2.6 隧道施工有平行导坑或横洞时，应充分利用辅助导坑降低正洞水位，使正洞水流通过辅助导坑引出洞外。

正洞施工由斜井竖井排水时，应在井底设置集水坑，用抽水机抽出井外。集水坑设置的位置不得影响井内运输和安全。

斜井、竖井施工有水时，应边开挖边挖积水坑，并视渗水量大小采用抽水机或吊桶排出。

10.2.7 在地下水发育的软弱围岩、断层破碎带中，施工防排水可按本规范 13 章有关方法进行。

10.2.8 严寒地区隧道施工排水时，宜将水沟、管理设在冻结线以下或采取防寒保温措施。

10.2.9 洞顶上方设有高位水池时应有防渗和防溢水设施。当隧道覆盖层厚度较薄且地层中水渗透性较强时，水池位置应远离隧道轴线。

10.3 结构防排水施工

10.3.1 洞内永久性防排水结构物施工时，应符合下列要求：

(1) 防排水结构物的断面形状、尺寸、位置和埋设深度应符合设计要求。

(2) 水沟坡面整齐平顺，水沟及检查井盖板平稳无翘曲。

(3) 衬砌背后或隧底设置盲沟时，沟内以石质坚硬、不易风化且尺寸不小于 15cm 的片石充填，盲沟纵坡不宜小于 1%。

(4) 设置在软弱围岩区段的盲沟、有管渗沟，周侧应加做砂砾石反滤层或用无纺布包裹，不得堵塞水路。

(5) 墙背泄水孔必须伸入盲沟内，泄水孔进口标高以下超挖部分应用同级混凝土或不透水材料回填密实。

(6) 排水管接头应密封牢固，不得出现松动。

(7) 隧底盲沟、有管渗沟及渗水滤层上方的回填，应满足路基施工的要求，墙背沟、管内应清除杂物，防止堵塞水路。

(8) 严寒地区保温水沟施作时应有防潮措施，防止保温材料受潮，影响保温性能。修筑的深埋渗水沟，回填材料除应满足保温、透水性好要求外，水沟周侧应用级配骨料分层回填，不得让石屑、泥砂渗入沟内。

(9) 排水设施应设置在冻胀线以下。

10.3.2 衬砌背后设置排水暗沟、盲沟和引水管理，应根据隧道的渗水部位和开挖情

况适当选择排水设施位置，并配合衬砌进行施工。

施工中应防止漏水造成浆液流失；灌筑混凝土或压浆时，浆液不得浸入沟管内。

10.3.3 隧道的排水设施应配合衬砌进行，并应符合以下要求：

(1) 侧沟与侧墙应联接牢固，必要时可在墙部加设短钢筋，使墙与沟壁联为一体；

(2) 侧沟进水孔的孔口端应低于该处路面标高，路面铺筑时不得堵塞孔口；

(3) 隧道内侧沟旁度设有集水井时，宜与侧沟、路面同时施工；

(4) 采用先拱后墙法灌筑拱脚混凝土时，应在拱墙连接部预埋水管或预留过水通道，保证拱墙背环向暗沟或盲沟排水流畅；

(5) 利用中心水沟(或侧沟)排水时，应在墙底预埋沟管，沟通中心水沟(或侧沟)与侧墙背后排水设施，在灌筑侧墙混凝土时不得堵塞预埋沟管；

(6) 设在衬砌背后和隧底的纵横向排水设施，其纵横向坡应平顺，并配合其他作业同时施工；

(7) 当隧底岩层松软有裂隙水时，应视具体情况加深侧沟或中心水沟的沟底，或增设横向盲沟，铺设渗水滤层及仰拱等。

10.3.4 衬砌背后采用压注水泥砂浆防水时，应符合下列要求：

(1) 压浆地段混凝土衬砌达设计强度 70%时，方可进行压浆；

(2) 冬季注浆时，洞内气温不低于+5℃，灰浆温度应保持在+5℃以上；

(3) 如遇流沙或含水土地层，不宜采用水泥砂浆作防水层；

(4) 注浆地段衬砌背面宜用干砌片石回填紧密，并每隔 20m 左右用 1m 厚浆砌片石或混凝土作阻浆隔墙，分段进行压浆；

(5) 注浆孔宜按梅花形排列，孔距视岩层渗水和裂隙情况确定，一般不宜大于 2m，径向孔深应穿过衬砌进入岩层 0.5m；

(6) 压浆顺序应从下而上，从无水、少水的地段向有水或多水处，从下坡方向往上坡方向，从两端洞口向洞身中间压浆。每段压浆长度不宜小于 20m；

(7) 初次压浆压力为 0.3~0.5MPa；检查压浆压力为 0.6~1.0MPa，但不超过 1.2MPa；

(8) 做好压浆孔编号及位置、水泥品种及标号、砂浆成分及水灰比、延散度、压浆压力、注浆数量等记录。

10.3.5 当衬砌背后压注水泥砂浆后衬砌表面仍有渗漏水的地段，可向衬砌体内压注水泥-水玻璃浆液；当这种浆液不能满足要求时，可采用其它化学浆液。施工中应符合下列要求：

(1) 应优先采用水泥-水玻璃浆液作注浆材料。

(2) 压注化学浆液时应随时注意对隧道附近水源的影响，一旦发现污染应立即停止使用。

(3) 注浆孔间距和注浆压力，应视渗漏水情况、衬砌质量等由现场试验确定。压浆孔间距为 1~2m，孔深宜为衬砌厚度为 1/2 或 2/3，但不得小于 15cm，并不得穿透衬砌以防跑浆；注浆压力可取 1.2~2.0MPa，不得低于 1.2MPa。

(4) 压注化学浆液时，其安全技术、防护用品应按国家有关规定执行。

10.3.6 隧道衬砌采用防水混凝土时，必须经现场试验达到规定要求后方可使用。防水混凝土的施工要求见本规范 8.3.12 条。

10.3.7 衬砌的施工缝和沉降缝采用的橡胶止水带或塑料止水带防水时，施工中应符合下列要求：

(1) 止水带不得被钉子、钢筋和石子刺破。如发现有割伤、破裂现象，应及时修补。

(2) 在固定止水带和灌筑混凝土过程中应防止止水带偏移。

(3) 加强混凝土振捣，排除止水带底部气泡和空隙，使止水带和混凝土紧密结合。

(4) 根据止水带材质和止水部位可采用不同的接头方法。对一橡胶止水带，其接头形式应采用搭接或复合接；对于塑料止水带的接头形式应用搭接或对接。止水带的搭接宽度可取 10cm，冷粘或焊接的缝宽不小于 5cm。

10.3.8 复合式衬砌中防水层的施工应满足下列要求：

(1) 防水层应在初期支护变形基本稳定后，二次衬砌施作前进行。

(2) 防水层铺设前，喷混凝土层表面不得有锚杆头或钢筋断头外露；对凸凹不平部位应修凿、喷补，使混凝土表面平顺；喷层表面漏水时，应及时引排。

(3) 防水层可在拱部和边墙按环状铺设，并视材质采取相应的接合方法。塑料板用焊接，搭接宽度为 10cm，两侧焊缝宽应不小于 2.5cm；橡胶防水粘接时，搭接带为 10cm，粘缝宽不小于 5cm。

(4) 防水层的接头处应擦净。塑料防水板应用与材质相同的焊条焊接；橡胶防水板应用粘合剂连接。涂刷胶浆应均匀，用量应充足；防水层的接头处不得有气泡、折皱及空隙，接头处应牢固，强度应不小于同质材料。

(5) 防水层用垫圈和绳扣吊挂在固定点上，其固定点的间距，拱部应为 0.5~0.7m，侧墙为 1.0~1.2m，在凹凸处应适当增加固定点。点间防水层不得绷紧，以保证灌注混凝土时板面与喷混凝土面能密贴。

(6) 采用无纺布作滤层时，防水板与无纺布应密切叠合，整体铺挂。

(7) 开挖和衬砌作业不得损坏防水层，当发现层面有损坏时应及时修补。

(8) 防水层纵横向一次铺设长度应根据开挖方法和设计断面确定。铺设前，宜先行试铺，并加以调整。防水层在下一阶段施工前的连接部分，应保护不得弄脏和破损。

(9) 防水层属隐蔽工程，二次衬砌灌注前应检查防水层质量，做好接头标记，并填写质量检查记录。

10.3.9 复合式衬砌中采用喷涂材料作防水层时，应符合下列要求：

(1) 围岩表面的泥土、油污等必须清除干净。凸凹不平部位和破损处应修凿平顺。

(2) 喷涂机具必须干燥清洁；喷涂材料应搅拌均匀，并及时使用。

(3) 防水层宜 2~3 层施工，每层厚度不宜小于 2mm，喷涂应均匀，不得产生气泡。

(4) 喷涂材料须密封保存，并贮藏于阴凉干燥处。

(5) 防水层施工的安全技术、防护用品均按国家有关规定办理。

10.3.10 停车带与正洞连接处的防排水工程应与正洞同进完成，其搭接处应平顺，不得有破损和折皱。

11 风水电作业和通风防尘

11.1 供风和供水

11.1.1 空气压缩机站设备能力应满足同时工作的各种风动机具最大耗风量和足够的风压。

11.1.2 空气压缩机站应设在洞口附近，并宜靠近变电站，应有防水、降温、保温和防雷击设施。

11.1.3 供水方案的选择及设备的配置应符合以下要求：

11.1.3.1 水源的水量应满足工程和生活用水的需要。有高山自然水源时应蓄水利用，水池高度应能保证洞内最高用水点的水压。

11.1.3.2 水池的容量应有一定的储备量，保证洞内外集中用水的需要。

11.1.3.3 采用机械站供水时，应有备用的抽水机。

11.1.3.4 充分利用洞内地下水源，通过高压水箱送到工作面。

11.1.4 工程和生活用水使用前必须经过水质鉴定，合格者才可使用。

11.1.5 隧道工作面使用风压应不小于 0.5MPa，水压不小于 0.3MPa。

11.1.6 高压风、水管路的安装使用，应符合下列要求：

11.1.6.1 管路应敷设平顺，接头严密，不漏风，不漏水。

11.1.6.2 洞内风、水管路宜敷设在电缆电线相对的一侧，并不得妨碍运输，不影响边沟施工。

11.1.6.3 洞外地段，当风管长度超过 500m，温度变化较大时宜安装伸缩器；靠近空气压缩机 150m 以内，风管的法兰盘接头宜用石棉衬垫。

11.1.6.4 在空气压缩机站和水池总输管上必须设总闸阀；主管上每隔 300~500m 应分装闸阀。高压风管长度大于 1000m 时，应在管路最低处设置油水分离器，定时放出管中的积油和水。

11.1.6.5 管路前端至开挖面宜保持 30m 距离，并用高压软管连接分风器和分水器，通往上导坑开挖面使用的软管长度不宜大于 50m。

分风器、分水器与凿岩机间连接的胶皮管长度，不宜大于 10m，上导坑、马口、挖底地段不宜大于 15m。

11.1.6.6 风、水管路使用中应有专人负责检查、养护；冬季应注意管道保温。

11.2 供电与照明

11.2.1 隧道供电电压应符合下列要求：

(1)应采用 400/230V 三相四线系统两端供电；

(2)动力设备应采用三相 380V；

(3)隧道照明，成洞段和不作业地段可用 220V，瓦斯地段不得超过 110V，一般作业地段不宜大于 36V，手提作业灯为 12~24V；

(4)选用的导线截面应使线路末端的电压降不得大于 10%；36V 及 24V 线不得大于 5%。

11.2.2 变压器容量应按电气设备总用电量确定。当单台电动设备容量超过变压器容量 1/3 时，应适当考虑增加起动附加容量。

11.2.3 洞外变电站宜设在洞口附近，并应靠近负荷集中地点和设在电源来线一侧。

11.2.4 供电线路布置和安装应符合下列要求：

(1)成洞地段固定的电线路，应使用绝缘良好胶皮线架设；施工地段的临时电线路宜采用橡胶套电缆；竖井、斜井宜使用铠装电缆；瓦斯地段的输电线必须使用密封电缆，不得使用皮线。

(2)照明和动力线路安装在同一侧时，必须分层加设。电线悬挂高度距人行地面的距离，110V以下时不应小于2m，400V时应大于2.5m，6~10kV时不应小于3.5m。瓦斯地段的电缆应沿侧壁铺设，不得悬空架设。

(3)涌水隧道的电动排水设备、瓦斯隧道的通风设备和斜井、竖井内的电气装置应采用双回路输电，并有可靠的切换装置。

(4)36V低压变压器应设在安全、干燥处、机壳接地，输电线路长度不应大于100m。

(5)动力干线上的每一分支线，必须装设开关及保险丝具。禁止在动力线路上加挂照明设施。

11.2.5 短隧道应采用高压至洞口，再低压进洞；长、特长隧道成洞地段应用6~10kV高压电缆送电；洞内设置6~10/0.4kV变电站供电时，应有保证安全的措施。

11.2.6 隧道作业地段必须有足够的照明；洞外照明按一般建筑工地要求。瓦斯地段的照明器材应采用防爆型，开关应设在送风道或洞口。

11.2.7 对于施工用电，靠近城镇时应优先利用外来电源；山岭重丘区没有电力来源时可根据工程规模、施工需要、机具等配套设置自行发电；采用大型掘进机械施工时，必须用外来电源；应设置预备电源或应急电源，确保停电时有必要的动力和照明。

11.2.8 对各种电气设备和输电线路应有专人经常进行检查维修，作业时，应参照现行的《电业安全工作规程》的规定办理。

11.3 通风、防尘、防有害气体

11.3.1 施工中作业环境应符合下列卫生标准：

11.3.1.1 坑道中氧气含量按体积计不应小于20%。

11.3.1.2 坑道内气温不宜高于30℃。

11.3.1.3 有害气体浓度

(1)一氧化碳(CO)一般情况下不大于30mg/m³，特殊情况下，施工人员必须进入工作面时，可为100mg/m³，但工作时间不得超过30min。

(2)二氧化碳(CO₂)按体积计不得大于0.5%。

(3)氮氧化物(NO₂) 在5~8 mg/m³以下。

(4)甲烷(CH₄)按体积计不得大于0.5%；否则必须按煤炭工业部现行的《煤矿安全规程》有关的规定办理。

11.3.1.4 粉尘浓度

含10%以上游离二氧化硅的粉尘，每立方米空气中不得大于2mg；含10%以下游离二氧化硅的矿物性粉尘，每立方米空气中不得大于4mg。

11.3.1.5 噪声不宜大于90dB。

11.3.2 隧道施工必须采用机械通风。通风方式应根据隧道长度、施工方法和设备条件等确定。长隧道应优先考虑混合通风方式。当主机通风不能保证隧道施工通风要求时，应设置局部通风系统、风机间隔串联或加设另一路风管增大风量。如有辅助坑道，应尽量利用坑道通风。通风方式可根据附录F选用。

11.3.3 隧道施工通风应能满足洞内各项作业所需要的最大风量。

风量按每人每分钟供应新鲜空气3m³计算，采用内燃机械作业时，1kW供风量不宜大于3m³/min。风速在全断面开挖时不应于0.15m/s，坑道内不应小于0.25m/s，但均不应大于6m/s。

瓦斯地段通风，应将新鲜空气送至开挖面，将开挖面附近的瓦斯含量稀释到 1.0% 以下；并用排风管将瓦斯气体排到洞外，不允许瓦斯气体流入隧道后方内。

11.3.4 通风管的选择和安装应符合下列要求：

(1) 风管直径应通过计算确定，通风管应与风机配套，同一管路的直径宜尽量一致，对长、大隧道宜尽量选用大口径风管。

(2) 吸入式的进风管口或集中排风管口应设在洞外，并作成烟囱式，防止污染空气回流进洞。

(3) 通风管靠近开挖面的距离应根据具体情况决定，压入式通风管的送风口距开挖面不宜大于 15m，排风式风管吸风口不宜大于 5m。

(4) 采用混合通风方式时，当一组风机向前移动，另一组风机的管路应相应接长，并始终保持两组管道相邻端交错 20~30m。局部通风时，排风式风管的出风口应引入主风流循环的回风流中。

(5) 通风管的安装应做到平顺、接头严密、弯管半径不小于风管直径的 3 倍。

(6) 通风管如有破损，必须及时修理或更换。

(7) 压风管应采用软质橡胶管，吸风管应采用硬质金属管或玻璃钢管。

11.3.5 通风机的安装与使用应符合下列要求：

(1) 应按照通风设计要求安装主风机。洞内辅助风机应安装在新鲜风流中。

(2) 通风机应装有保险装置，当发生故障时能自动停机。

(3) 通风机应有适当的备用量，宜为计算能力的 50%。

11.3.6 应定期测试通风的风量、风速、风压，检查通风设备的供风能力和动力消耗。

11.3.7 隧道施工应采取通风、洒水等防尘措施，搞好个人防护，并定期测试粉尘和有害气体的浓度。

12 辅助坑道

12.1 一般规定

12.1.1 辅助坑道洞口工程的施工应遵守下列规定：

- (1)坑道口的截、排水工程和场地周围防护冲刷的设施应在辅助坑道施工前完成；
- (2)竖井口的锁口圈应在井身掘进前完成；
- (3)其它类型的坑道口洞门应尽早建成。

12.1.2 辅助坑道在需要支护的洞身地段，开挖与支护应配合进行，并宜采用锚喷支护。辅助坑道的岔洞与正洞联接处，应加强支护并紧跟开挖面。

12.1.3 在辅助坑道的施工和使用期间，应做好防水和排水工作，并有切实可行的应急措施。

12.1.4 辅助坑道不再利用时，除设计有规定外，宜按下列规定处理：

(1)横洞、平行导坑及斜井的洞口用 5 号浆砌片石封闭。封闭长度：无衬砌时 3~5m；有衬砌时不小于 2m。竖井井口用钢筋混凝土盖板封闭，当竖井设在隧道顶部时，隧道顶部的回填高度不应小于 10m。

(2)横洞、平行导坑的横通道、竖井或斜井的连接通道，在靠近隧道 15~20m 范围内应进行永久支护或衬砌。其余地段可根据地质情况分段进行支护或加强。

(3)横洞、平行导坑封闭前，应结合排水需要做好排水暗沟，并留出检查通道；斜井和竖井井底的水应妥善引入隧道内的排水沟中。

12.1.5 斜井和竖井提升设备的安装、管理和使用以及本规范未尽事宜，可参照现行《煤矿安全规程》的有关规定办理。

12.1.6 辅助坑道的类型、平面位置、断面尺寸、坡度和高程应符合交通部现行《公路隧道设计规范(JTJ026-89)》的有关规定。

12.2 斜井

12.2.1 斜井的开挖应符合下列要求：

- (1)炮眼方向应与斜井倾角一致，底眼应较井底标高略低，避免出现台阶；
- (2)每循环进尺应用坡度尺放线控制井身坡度；
- (3)每隔 20~30m 应用仪器复核中线、水平，保证井身位置正确。

12.2.2 当采用构件支撑时，其立柱斜度宜为斜井倾角之半，最大不得超过 9°。各排支撑间应用三道纵撑支稳。

12.2.3 井口地段、不良地质或渗水的井身地段以及井底调整车场、作业洞室，施工时应加强支护，并应及时衬砌。

倾角大于 30° 且地质条件差的地段上的衬砌，其墙基脚宜作成台阶形式。

12.2.4 轨道铺设的标准和要求除应按本规范 6.2.4 条的规定执行外，尚应遵守下列规定：

- (1)每根钢轨应安装两组防爬设备，每对钢轨应用三根轨距拉杆；
- (2)两条钢轨顶面的高差不得超过 5mm；
- (3)在斜井中未设人行道的一侧，其管道、电力线等与轨道间的安全距离为：使用构件支撑时不得小于 25cm；锚喷或混凝土衬砌时不得小于 20cm；使用皮带运输机时不得小于

40cm;

(4) 托索轮及安全闸等轨道辅助设备应与轨道一并铺设。

12.2.5 斜井运输应遵守下列规定：

(1) 斜井内应有足够的照明措施。

(2) 提升绞车运行速度为 1.2~3.5m/s。

(3) 提升绞车应有深度指示器及报警装置，并设有防过卷装置。

(4) 斜井的提升、连接装置和钢丝绳应符合安全使用的要求，并有定期检查、上油保养、修理、更换的制度。

(5) 提升绞车与井口、井底均应有联络信号装置，并有专人负责。每次提升、下放、暂停应有明确的信号规定。

(6) 井口轨道中心必须设置安全挡车器，并经常处于关闭状态，放车时方准打开。在挡车器下方约 5~10m 及接近井底前 10m 处应各设一道防溜车装置，井底与通道联接处，应设置安全索。车辆行驶时井内禁止人员通行与作业。

(7) 用斗车升降物料时，斗车之间、斗车和钢丝绳之间应用可靠的连接装置，并加装保险绳。在斗车上、钢丝绳或车钩上要有防脱钩设备。

(8) 运输长材时，必须有装载及运输安全措施。

(9) 禁止上下班人员乘坐箕斗或斗车。当斜井垂直深度超过 50m 时，应有运送人员的专用设施。

12.3 竖 井

12.3.1 竖井宜采用自上往下单行作业法施工。当正洞掘进已超前竖井位置时，亦可采用自下往上的施工方法。根据施工情况，也可两种方法结合使用。

12.3.2 竖井自上往下单行作业法施工应符合下列要求：

(1) 应采用分段作业，完成一段后再进行下一段作业。各段内的工序为顺序作业；

(2) 各段内应按竖井外径进行钻眼爆破、通风和抽水；

(3) 视地质条件进行施工支护；

(4) 提升出渣，灌筑井壁混凝土衬砌；

(5) 随着开挖浓度的增加，井筒内应加强通风或补充氧气。

12.3.3 竖井开挖应符合下列要求：

(1) 开挖宜用直眼掏槽，炮眼深度要一致。有地下水时，应采用立式梯台超前掏槽法。

(2) 钻眼前应先清除开挖面的石渣并排除积水。每钻完一孔眼后，应将眼口临时堵塞。

(3) 每次爆破后应检查断面，不宜欠挖。每掘进 5~10m 应核对中线，及时纠正偏斜。

12.3.4 竖井装渣宜用抓岩机。爆破的石渣宜大小均匀，以提高出渣效率。当竖井深度小于 40m 时，出渣也可采用三角架或龙门架作井架，但出渣时应有稳绳装置和其它保证安全的措施。

12.3.5 竖井采用锚喷支护时，每次支护高度视围岩稳定程度而定。当竖井采用构件支撑时，支撑架设应符合下列要求：

(1) 预制井圈构件按水平位置架设，其与岩壁间用木板和劈柴塞紧。井圈构件间距根据地质情况决定，一般为 1m。各部构件应支稳连牢，形成整体，不得松动。

(2) 支撑架设不得侵入竖井有效断面；井圈中心与竖井中线应基本吻合。

12.3.6 井口段、马头门及地质较差的井身地段，当采用混凝土衬砌时，应按需要设置壁座或安设锚杆。

12.3.7 竖井运输应遵守下列规定：

(1)井口的锁口圈应配置井盖。只有在升降人员、物料进，井盖才可开启。

(2)井口周围应设置安全栅栏和安全门，安全栅栏高度不应小于 60cm。通向井口的轨道中心应设阻车器。

(3)井口、井底、绞车房和工作吊盘间均应有联络信号，并有专人负责。必要时应装设直通电话。

(4)提升机械不得超负荷运行，并应有深度指示器和防止过卷、超速等保护装置以及限速器和松绳信号等。

(5)工作吊盘的载重量不应超过吊盘的设计载重能力。

(6)提升吊桶所用钩头连接装置应牢靠，不得自动脱钩，并应有缓转器。罐笼的提升应设置可靠的防坠器。

(7)提升用的钢丝绳和各种悬挂使用的钩、链、环、螺栓等连接装置，应按规定的安全系数确定规格，使用前应进行拉力试验，合格后才可使用。在使用中应有定期检查、修理和更换制度。

12.4 横洞与平行导坑

12.4.1 隧道内设有车行或人行横通道时，平行导坑与正洞间的横通道应结合车行或人行横通道的位置设置。

12.4.2 当横洞与平行导坑采用锚喷作为施工支护时，其断面型式宜采用拱形。

12.4.3 平行导坑的掘进应超前于正洞。超前距离不应小于一个横通道的间距。横通道的间距应根据施工需要、正洞工程进度及地质情况确定。

12.4.4 平行导坑横通道的施工应在平行导坑和正洞掘进至其位置时，将交叉口处一次挖成。

13 辅助施工方法

13.1 适用范围及一般规定

13.1.1 在浅埋、严重偏压、岩溶流泥地段、砂土层、砂卵(砾)石层、自稳性差的软弱破碎地层、断层破碎带以及大面积淋水或涌水地段进行施工时,可采用辅助施工方法对地层进行预加固、超前支护或止水。

13.1.2 采用辅助施工方法施工时,应遵守下列规定:

(1)应根据工程地质及水文地质条件、施工队伍的技术水平、机械设备状况等,选用辅助施工方法,并做好相应的工序设计;

(2)应按采用的辅助施工方法,准备所需的材料及机具,制订有关的安全施工条例;

(3)施工中应经常观察地形、地貌的变化以及地质和地下水的变异情况,预防突然事故的发生;

(4)作好详细的施工记录;

(5)必须坚持先支护(强支护)、后开挖(短进尺、弱爆破)、快封闭、勤量测的施工原则。

13.2 稳定开挖面的方法

13.2.1 稳定开挖面、防止地表地层下沉不宜用下列辅助施工方法:

(1)地面砂浆锚杆;

(2)超前锚杆或超前小钢管支护;

(3)管棚钢架超前支护;

(4)超前小导管预注浆;

(5)超前围岩预注浆加固(包括周边劈裂预注浆、周边短孔预注浆)。

13.2.2 地面砂浆锚杆的施工应符合下列要求:

(1)锚杆宜垂直地表设置,根据地形及岩层层面具体情况也可倾斜设置;

(2)锚杆长度可根据隧道覆盖层厚度和实际施工能力确定;

(3)砂浆锚杆的施工应按本规范 7.2 节有关规定执行。

13.2.3 超前锚杆或超前小钢管支护施工应符合下列要求:

(1)超前锚杆或超前小钢管支护宜和钢架支撑配合使用并从钢架腹部穿过;

(2)超前锚杆或超前小钢管支护与隧道纵向开挖轮廓线间的外插角宜为 $5\sim 10^\circ$ 长度应大于循环进尺,宜为 $3\sim 5\text{m}$;

(3)超前锚杆宜用早强水泥砂浆锚杆;

(4)超前小钢管顶入钻孔长度不应小于管长的 90%。

13.2.4 管棚钢架超前支护施工应符合下列要求:

(1)检查开挖的断面中线及高程,开挖轮廓线应符合设计要求。

(2)钢架安装垂直度允许误差为 $\pm 2^\circ$, 中线及高程允许误差为 $\pm 5\text{cm}$

(3)在钢架上沿隧道开挖轮廓线纵向钻设管棚孔,其外插角以不侵入隧道开挖轮廓线越小越好。孔深不宜大于 10m ,一般为 $10\sim 45\text{m}$ 。孔径比管棚钢管直径大 $20\sim 30\text{mm}$ 。钻孔环向中心间距视管棚用途确定。钻孔顺序由高孔位向低孔位进行。

(4)将钢管打入管棚孔眼中。管棚钢管外径宜为 $\phi 70\sim 180\text{mm}$ 。长度宜为 $4\sim 6\text{m}$ 。接头应采用厚壁管箍,上满丝扣,丝扣长度不应小于 15cm 。接头应在隧道横断面上错开。

(5)当需增加管棚钢架支护的刚度时,可在钢管内注入水泥砂浆。水泥砂浆应用牛角泵

灌注。封堵塞应有进料孔和出气孔，在出气孔流浆后，方可停止压注。

13.2.5 超前小导管预注浆的施工应符合下列要求：

(1) 小导管采用 $\phi 32\text{mm}$ 焊接钢管或 $\phi 40\text{mm}$ 无缝钢管制作，长度宜为 3~5m。管壁每隔 10~20cm 交错钻眼，眼孔直径宜为 $\phi 6\sim 8\text{mm}$ 。

(2) 沿隧道纵向开挖轮廓线向外以 $10\sim 30^\circ$ 的外插角钻孔，将小导管打入地层。亦可在开挖面上钻孔将小导管打入地层。小导管环向间距为 20~50cm。

(3) 小导管注浆前，应对开挖面及 5m 范围内的坑道喷射厚为 5~10cm 混凝土或用模筑混凝土封闭。

(4) 注浆压力应为 0.5~1.0MPa。必要时可在孔口处设置止浆塞。止浆塞应能承受规定的最大注浆压力或水压。

(5) 注浆后至开挖前的时间间隔，视浆液种类宜为 4~8h。开挖时应保留 1.5~2.0m 的止浆墙，防止下一次注浆时孔口跑浆。

13.2.6 超前围岩预注浆加固施工应符合下列规定：

(1) 注浆孔的布置角度及深度应符合设计要求。孔口的位置与设计位置的允许偏差为 $\pm 5\text{cm}$ ；孔底位置偏差应小于孔深的 10%。

(2) 注浆钻孔应作到：孔壁圆、角度准，孔身直，深度够，岩粉清洗干净。当出现严重卡钻、孔口不出水时应停止钻孔，立即注浆。

(3) 钻孔结束后应掏孔检查，在确认无塌孔和探头石时，才可安设注浆管。

(4) 注浆前应平整注浆所需场地，检查机具设备，作好止浆墙，并准备注浆材料。

(5) 注浆压力应根据岩性、施工条件等因素在现场试验确定。

(6) 注浆方式可根据地质条件、机械设备及注浆孔的深度选用前进式、后退式或全孔式。注浆顺序为先注内圈孔，后注外圈孔；先注无水孔，后注有水孔，从拱顶顺序向下进行。如遇窜浆或跑浆，则可间隔一孔或数孔灌注。注浆结束后，应利用止浆阀保持孔内压力，直至浆液完全凝固。

(7) 注浆作业应符合下列要求：

① 浆液的浓度、胶凝时间应符合设计要求，不得任意变更。

② 应经常检查泵口及孔口注浆压力的变化，发现问题，应及时处理；

③ 采用双液注浆时，应经常测试混合浆液的胶凝时间，发现与设计不符，应立即调整。

(8) 注浆结束的条件如下：

① 单孔结束条件：注浆压力达到设计终压；浆液注入量已达到计算值的 80% 以上。

② 全段结束条件：所有注浆孔均已符合单孔结束条件，无漏注情况。

(9) 注浆后必须对注浆效果进行检查，如未达到要求，应进行补孔注浆。

(10) 注浆后至开挖前的时间间隔，可按本节 13.2.5.6 款执行。开挖时应按设计要求留设止浆岩盘。

13.2.7 注浆材料应根据地质条件及涌水情况确定。

(1) 断层破碎带和砂卵石地层，当裂隙宽度(或粒径)大于 1mm 时，加固地层或堵水注浆宜优先采用水泥类浆液和水泥-水玻璃浆液。

采用水泥浆液时，水灰比可采用 0.8 : 1~2 : 1。需缩短胶凝时间，可加入食盐、三乙醇胺速凝剂。

采用水泥-水玻璃浆液，应根据胶凝时间配制。一般水泥浆液的水灰比为 0.8 : 1~1.5 : 1；水玻璃浓度为 $24\sim 40^\circ \text{Be}$ 水泥浆与水玻璃的体积比宜为 1 : 1~1 : 0.3。

(2) 断层泥地带，当裂隙宽度(或粒径)小于 1mm 时，加固注浆宜优先采用水玻璃类和木胺灯浆液。

(3) 中、细、粉砂层及细小裂隙岩层、断层泥地段，宜采用渗透性好、低毒及遇水膨

胀的化学类浆液。

13.2.8 注浆机具设备应性能良好，操作应简便，并应满足使用的要求。

13.2.9 可选用遮挡壁法、特殊钢背板顶进行法、锚索法以及钢筋混凝土管桩加固法等，稳定开挖面、防止地表地层下沉。

13.3 涌水的处理方法

13.3.1 根据设计文件对隧道可能出现涌水地段的涌水量大小、补给方式、变化规律及水质成分等进行详细调查，选择既经济合理，又能确保围岩稳定，并保护环境的治水方案。

处理涌水可采用下列辅助施工方法：

- (1) 超前钻孔或辅助坑道排水；
- (2) 超前小导管预注浆；
- (3) 超前围岩预注浆堵水；
- (4) 井点降水及深井降水。

13.3.2 采用辅助坑道排水时，应符合下列要求：

- (1) 坑道应和正洞平行或接近平行；
- (2) 坑道底标高应低于正洞底标高；
- (3) 坑道应超前正洞 10~20m，至少应超前 1~2 个循环进尺。

13.3.3 采用超前钻孔排水时，应符合下列要求：

- (1) 应使用轻型探水钻机或凿岩机钻孔；
- (2) 钻孔孔位(孔底)应在水流上方。钻孔时孔口应有保护装置，以防人身及机械事故；
- (3) 采取排水措施，保证钻孔排出的水迅速排出洞外；
- (4) 超前钻孔的孔底应超前开挖面 1~2 个循环进尺。

13.3.4 超前围岩预注浆堵水施工除应符合本章 13.2.6 条外，尚应符合下列规定：

(1) 注浆段的长度应根据地质条件、涌水量、机具设备能力等因素确定，一般宜在 30~50m 之间；

- (2) 钻孔及注浆顺序应由外圈向内圈进行，同一圈钻孔应间隔施工；
- (3) 浆液宜采用水泥浆液或水泥-水玻璃浆液。

13.3.5 井点降水施工应符合下列规定：

(1) 井点的布置应符合设计要求。当降水宽度小于 6m，深度小于 5m 时，可采用单排井点。井点间距宜为 1~1.5m。

(2) 有地下水的黄土地段，当降水深为 3~6m 时，可采用井点降水；当降水深度大于 6m 时，可采用深井井点降水。

(3) 滤水管应深入含水层，各滤水管的高程应齐平。

(4) 井点系统安装完毕后，应进行抽水试验，检查有无漏气、漏水情况。

(5) 抽水作业开始后，宜连续不间断地进行抽水，并随时观测附近区域地表是否产生沉降，必要时应采取防护措施。

13.3.6 深井井点降水施工应符合下列要求：

(1) 在隧道两侧地表面布置井点，间距为 25~35m。井底应在隧底以下 3~5m；

(2) 作好深井抽水时地面的排水工作。

14 特殊地质地段的施工

14.1 一般规定

14.1.1 当隧道通过膨胀土层、软弱黄土层、含水未固结围岩、溶洞、破碎带、岩爆、流沙以及瓦斯溢出地层时，宜采用辅助方法施工。

14.1.2 施工中应经常观察围岩和地下水的变异情况，量测支护、衬砌的受力情况，注意地形、地貌的变化，防止突然事故的发生。如有险情，应立即分析情况并采取措施，迅速处理。渗漏水地段，应先治水，其技术作业可按本规范 10 章和 13 章有关规定办理。

14.1.3 特殊地质隧道，除大面积淋水地段、流沙地段外，均可采取锚喷支护施工。施工时应符合下列要求：

(1) 当开挖面自稳性很差，难以开挖成形时，应在清除危石后尽快在开挖面上喷射厚度不小于 5cm 的混凝土护面，必要时，可在开挖轮廓线处和开挖面上打设超前锚杆，超前锚杆长度宜大于开挖进尺的 3 倍。

(2) 锚喷支护完成后仍不能提供足够的支护能力时，应及时设置钢架支撑，加强支护。

14.1.4 不宜采用锚喷支护的地段，应采用构件支撑，并符合下列要求：

(1) 支撑应有足够的强度和刚度，能承受开挖后的围岩压力。支撑基础应铺设垫板。当支撑出现变形、断裂时，应立即加固或部分撤换。

(2) 围岩出现底部压力，产生底鼓现象或可能产生沉陷时，应加设底梁。

(3) 当围岩极为松软破碎时，必须先护后挖，暴露面应采用支撑封闭。

(4) 根据现场条件，可结合管棚或超前锚杆等支护，形成联合支撑。

(5) 支撑作业应迅速、及时。

14.1.5 特殊地质地段施工时，不宜采取全断面开挖。钻爆设计时，应严格控制炮眼数量、深度和装药量。

14.1.6 围岩压力过大，支撑下沉可能侵入衬砌设计断面时，必须挑顶，并按以下方法进行处理。

(1) 拱部扩挖前发现顶部下沉，应先挑顶后扩挖；

(2) 当扩挖后发现顶部下沉，应立好拱架和模板先灌筑满足设计断面部分的拱圈，该混凝土达到所需强度并加强拱架支撑后，再行挑顶灌筑其余部分；

(3) 挑顶作业宜先护后挖。

14.1.7 自稳性极差的围岩宜采取压注水泥砂浆或化学浆液加固。

14.1.8 模筑衬砌施工应遵守本规范第 8 章的有关规定，并符合下列要求：

(1) 当拱脚、墙基松软时，灌筑混凝土前应排净基底积水，并采取措施加固基底；

(2) 衬砌混凝土应掺早强剂等，提高衬砌的早期承载能力；

(3) 仰拱施工，应在边墙完成后抓紧进行，使结构尽快封闭成环。

14.1.9 特殊地质地段施工方案应由设计、施工主管技术负责人共同研究确定。施工过程中发现设计与实际情况不符时，施工单位应会同有关方面共同研究，作出必要的修改。

14.2 膨胀性围岩

14.2.1 隧道通过膨胀性地层时，应对围岩的压力和流变情况进入调查、量测、掌握围岩变形及压力的增长特性。

14.2.2 宜采用短台阶或中央导坑法开挖，但开挖分部不宜过多。

14.2.3 应紧跟开挖尽快对围岩施加约束。可用锚喷及钢架或格栅联合支护；膨胀压力

很大时，可在隧道底部打设锚杆，亦可在隧道顶部一定范围内打入斜向超前锚杆和小导管，形成闭合环。斜向锚杆的外斜角度、杆长、间距、范围应按本规范第 13 章的规定执行。

喷射混凝土层宜采用钢纤维混凝土，提高喷层的抗拉和抗剪能力。

14.2.4 钢架支撑宜采用可缩性结构。支撑的制作与安装应符合下列规定：

(1) 支撑的可缩接头，根据位移量确定，可设 2~3 个。

(2) 接头的伸缩，应根据隧道最大控制位移计算确定，每个拉接头最大伸缩量不宜大于 100 mm。

(3) 可缩接头的滑动阻力。可按钢架支撑承受轴向力的 1/2 进行计算。

(4) 当采用钢管制作支撑时，应设灌浆孔。可缩接头收缩合拢后，管内应用喷射混凝土封闭。

14.2.5 衬砌的拱部与侧墙宜同时施工，仰拱应尽早完成。仰拱与侧墙连接处应尽可能做成圆弧状，衬砌与围岩应密贴。

14.2.6 当围岩压力极大，其变形速率难以收敛时，应在上台阶或中央导坑的底部先行修筑临时混凝土仰拱，待变形基本收敛后，开挖下部台阶，拆除临时仰拱，并尽快灌筑永久性衬砌和仰拱。

14.3 黄 土

14.3.1 黄土围岩隧道施工应符合下列要求：

(1) 调查黄土中构造节理的产状与分布状况。对因构造节理切割而形成的不稳定部位加强支护。

(2) 宜采用短台阶开挖方法或分部开挖法(留核心法)。初期支护应紧跟开挖面施作。

(3) 做好地表水截排工作，雨水不得漫溢于洞口仰坡和边坡面。

(4) 施工中应遵循“短开挖、少扰动、强支护、及时密贴、勤量测”的原则。

(5) 当隧道覆盖层浅、地表有下沉可能时，应按本规范 13 章中有关防止地表下沉的辅助方法治理。

14.3.2 黄土围岩隧道宜采用复合式衬砌，开挖以后钢支撑、钢筋网、喷射混凝土和锚杆作初期支护，必要时宜采用超前锚杆、管棚支撑加固围岩。

14.3.3 施工中洞内应完善排水设施，保持路面干燥。当地下水量较大时，应在洞内采用井点降水法降低地下水位。或在洞外隧道开挖线两侧设深井降水。井点降水和深井降水应按本规范 13.3.5、13.3.6 条的规定执行。

14.4 溶 洞

14.4.1 隧道通过岩溶地区，当发现地表有以下情况时，可初步判断其岩层中存在溶洞、暗河。

(1) 四周汇水的洼地内，发现在落水洞、漏斗或天然竖井存在；

(2) 落水洞、漏斗呈带状分布地段；

(3) 地面塌陷和草木丛生以及冬季冒气等地段；

(4) 地表水消失或附近有出水点(泉眼)的地段。

14.4.2 应根据设计文件有关资料，进一步查明溶洞分布范围、类型、岩层的完整稳定程度、充填物和地下水流情况等，据以确定施工方法。对尚在发育或穿越暗河、水囊等地质条件极复杂的岩溶区，应查明情况，填重选定施工方案。探查溶洞时，应有安全措施。

14.4.3 岩溶地段隧道可采取以下几种措施处治：

14.4.3.1 引排水

(1) 遇到暗河或溶洞有水流时，宜排不宜堵，应在查明水源流向及其与隧道位置的关系后，用暗管、涵洞、小桥等设施渲泄水流或开凿泄水洞将水排除洞外。

(2) 当岩溶水流的位置在隧道顶部或高于隧道顶部时，应在适当距离处，开凿引水斜洞（可引水槽）将水位降低到隧底标高以下，再行引排。当隧道设有平行导坑时，可将水引入平行导坑排出。

14.4.3.2 堵填

(1) 对已停止发育、跨径较小、无水溶洞，可根据其与隧道相交的位置及其充填情况，采用混凝土、浆砌片石或干砌片石予以回填封闭；或加深边墙基础，加固隧道底部。

(2) 当隧道拱顶部有空溶洞时，可视溶洞的岩石破碎程度在溶洞顶部采用锚杆加固，并加设隧道护拱及拱顶回填的办法处治。

14.4.3.3 跨越

(1) 当溶洞较大较深，不宜采用堵填封闭的方法，或充填物松软不能承载隧道结构时，可采用梁、拱跨越。跨越的梁端或拱座应置于稳固可靠的岩层上，必要时灌筑混凝土进行加固。遇特大溶洞时，可采取明洞结构形式。

(2) 当溶洞很大，地质情况复杂时，隧道衬砌可采用拉杆拱、边墙梁结构；有条件进，可采用锚索对溶洞与隧道连接处进行加固，锚索应为全长未胶结的自由锚索。

14.4.3.4 绕行

在岩溶区施工，个别溶洞处理耗时且困难时，可采取迂回导坑绕过溶洞，继续进行隧道前方施工，并同时处治溶洞，以节省时间，加快施工进度。绕行开挖中，应防止洞壁失稳。

14.4.4 溶洞地段施工应符合下列要求：

14.4.4.1 凿眼机钻进速度较快时，可能已达到溶洞边缘，应观察水情变化及裂隙溶蚀程度，当渗水及溶蚀程度有所增大时，应对掘进、支撑、排水等工作加以妥善安排。

14.4.4.2 当达到溶洞边缘，施工各工序应紧密衔接。当采取下导坑引进时，边墙基础应坚固，对小溶洞应填实；对大溶洞可采取本节 14.4.3.3 款的措施处理。上部工序应抓紧，尽快作好衬砌。

14.4.4.3 在溶洞充填体中开挖，当充填物较松软时，可用插钎法（如工型钢或槽型钢等）施工，并注意预留沉落量。当充填物为石块堆积时，可在开挖前预压砂砾及水泥砂浆加固。

14.4.4.4 施工中对溶洞顶部应经常检查，及时处理危石。当溶洞较高且顶部破碎时，应先喷射混凝土加固，再在靠近溶洞顶部附近打入锚杆，并设置钢筋和支架。

14.4.4.5 在岩溶地段爆破，应尽量做到多打眼，打浅眼，并控制药量。

14.4.4.6 当反坡施工遇到溶洞时，应准备足够数量的排水设备。

14.4.4.7 当判断有岩溶水时，应利用超前探水钻孔作涌水预报，探明开挖面前方几米到几十米的水情，防止突水事故的发生。

14.4.4.8 溶洞内不得任意抛填隧道开挖弃渣。

14.4.5 遇采空区时，应采取弱爆破，强支护，谨慎开挖。施工措施可按本节 14.4.3、14.4.4 条执行。

14.5 塌 方

14.5.1 塌方地段应加强预报工作。处理塌方前，应详细调查其范围、形状、塌穴地质构造，查明其诱发原因和塌方类型，据此确定处理方案。

14.5.2 隧道塌方后，应先加固未塌方地段，防止塌穴扩大。

14.5.3 塌方规模较小时，首先加固塌体两端洞身，并尽快施作喷射混凝土或锚喷联合

支护封闭塌穴顶部和侧部，然后清渣。在保证安全的前提下，亦可在塌渣上架设施工临时支架，稳定顶部，然后清渣。临时支架待灌筑衬砌混凝土达到要求强度后方可拆除。

14.5.4 当塌方规模很大，塌渣体完全堵死洞身时，宜采用先护后挖的方法。在查清塌穴规模大小和穴顶位置后，可采用管棚法或注浆固结法稳固围岩体和渣体，待其基本稳定后，按先上部后下部的顺序清除渣体，亦可用全断面法按短进尺、弱爆破、早封闭的原则开挖塌体，并尽快完成衬砌。

14.5.5 塌方冒项，在清渣前应支护陷穴口，地层极差时，在陷穴口附近地面应打设地表锚杆，洞内可采用管棚支护和钢架支撑。

14.5.6 在塌方处，模筑衬砌背后与塌穴洞孔周壁必须紧密支撑。当塌方较小时，可用浆砌片石或干砌片石将其充填；当塌穴较大时，可用浆砌片石回填，厚度宜为 2m，其以上空间应采用钢支撑等顶住稳固围岩；特大塌穴应作特殊处理。衬砌厚度应按松散体荷载计算确定。

14.5.7 塌方地段防排水除遵守本规范 10 章有关规定处，尚应遵守下列规定：

(1) 对于地表沉陷和裂缝，应采用不透水土夯填密实，并开挖截水沟，防止地表水下渗到塌穴和塌渣体内；

(2) 塌方冒顶时，应在陷穴口地表四周挖沟排水，并设棚遮盖穴顶，防止雨水流入。陷穴口填标高应高出地面并封口。

14.5.8 岩爆引起塌方时，应采取以下措施：

- (1) 迅速将人员和机械，撤至安全地段；
- (2) 采用磨擦型锚杆进行支护，增大锚杆的初锚固力；
- (3) 采用钢纤维喷射混凝土，抑制开挖面拱部围岩的剥落；
- (4) 采取挂钢筋网，必要时可用钢支撑加固；
- (5) 充分作好岩爆现象观察记录；
- (6) 可采取声波探测，加强岩爆预报工作。

14.6 流 沙

14.6.1 施工中应调查流沙特性、规模，了解地质构成、贯入度、相对密度、凿径分布、塑性指数、地层承载力、滞水层分布、地下水压力和透水系数等，并制订处治方案。

14.6.2 在流沙地段开挖隧道，可采取以下治理措施：

(1) 加强防排水工作，防止沙层稀释和挟走沙粒，必要时采取井点法降低地下水位，其集水管可用加气砂浆充填。

(2) 将泥水抽排至洞外。当隧道很长时，可在洞内合适位置设时蓄泥水池，将泥水在该池内经处理沉淀后抽出洞外，池内沉积的淤泥定期清除。

(3) 采用化学药液注浆固结围岩时，注剂可采用悬浮型或溶液型浆液。

(4) 应自上而下分部开挖，先护后挖，边挖边密封，遇缝必堵。流沙出现后，尽快用板材封闭开挖面。

(5) 可采用工字型钢支撑或木支撑，设置底梁，支撑的上下、纵横均应连接牢固。架设拱架时，拱脚应用方木或厚板铺垫。支撑背面应用木板或槽型钢钣遮挡，严防流沙从支撑间逸出。

(6) 在流沙逸出口附近较干燥围岩处，应尽快打入锚杆或施作喷射混凝土层，加固围岩，防止逸出扩大。

14.6.3 流沙地段开挖边墙马口，其长度不得大于 2m，并应采取措施防止拱圈两侧不均匀下沉。拱部和边墙衬砌混凝土的灌筑应尽量缩短时差，尽快形成封闭环。

14.7 瓦斯地层

14.7.1 瓦斯溢出地段，应预先确定瓦斯探测方法，并制订瓦斯稀释措施、防爆措施、紧急救援措施等。

14.7.2 瓦斯地层宜采用超前导坑法开挖，探查瓦斯种类和含量，并稀释瓦斯浓度，同时加强通风。通风应按本规范 11 章的规定执行。

14.7.3 钻爆作业必须遵守下列规定：

(1) 在煤层或有瓦斯岩层中，不允许打 40cm 以下的浅眼，任何炮眼最大抵抗线不得小于 30cm；

(2) 打眼时应采取湿式凿岩，严禁干式凿岩；

(3) 应使用毫秒电雷管和安全炸药，并采取电力起爆；

(4) 爆破电闸应安装在新鲜风流中，并与开挖面保持 200m 左右距离；

(5) 应采用连续装药方式，雷管安放在最外一节炸药中，不得使用裸露药包。

14.7.4 瓦斯地层施工必须采取下列安全措施：

(1) 预先对各有关人员进行专门训练，经考试合格确认其已掌握有关防止瓦斯爆炸方面的技术操作知识后，方可担任防爆工作。

(2) 装渣运输使用的金属器机和车辆不得与渣体撞击，铲装前必须将石渣洗湿，防止摩擦和碰击火花。

(3) 通风用的风筒、风道、风门和风墙等设施，必须按规定制作，保持密闭，防止漏风和松动塌落，施工中应派专人维修和保养。禁止频繁开启风门，确保风流稳定。

(4) 风机用电应单独供给，当其它电源因瓦斯超限而切断时，风机电源必须能正常供电。

(5) 组织工地救护组，进行专门抢救训练。备齐急救和抢险设备，并指定专人保管，经常保持其良好状态，不得挪做他用。

(6) 隧道内严禁使用明火照明，不得带入易燃物品。

14.7.5 瓦斯检测手段可采用瓦斯遥测装置、定点报警仪和手持式光波干涉仪。应重点检测下列地点：

(1) 开挖面及其附近 20m 范围内的风流中；

(2) 断面变化交界处上部，导坑上部，衬砌与未初砌交界处上部以及衬砌台车内部等容易积聚瓦斯的地方；

(3) 局扇 20m 范围内的风流中；

(4) 总回风流中；

(5) 各洞室和通道；

(6) 机械、电气设备及其开关附近 20m 范围内；

(7) 岩石裂隙、溶洞和采空区瓦斯溢出口；

(8) 局部通风不良地段；

(9) 技术负责人指定的检测地点。

14.7.6 应加强瓦斯检查制度，在钻眼、装药、放炮前及放炮后四个五一节上搞好瓦斯巡回检测工作。瓦斯检查应按下列规定执行：

(1) 导坑内瓦斯含量在 0.5% 以下时，每隔 0.5h 到 1h 检查一次，0.5% 以上时，应随时检查，不得离开开挖面，发现异常应及时报告；

(2) 当发现瓦斯含量在 2% 时，应加强通风稀释，在瓦斯含量降到允许值后，才可进入检查；

(3) 瓦斯检查人员工作时应有安全防护装备。

15 路基、路面基层与路面

15.1 一般规定

15.1.1 隧道内路基、路面基层和路面的材料、施工和质量要求，应满足现行的《公路路基施工技术规范(JTJ033—86)》、《公路路面基层施工技术规范(JTJ034—93)》、《水泥混凝土路面施工及验收规范(GBJ97—86)》、《沥青路面施工及验收规范(GBJ92—86)》及《公路工程质量检验评定标准(JTJ071—94)》的有关规定，并符合本章要求。

15.1.2 隧道进、出口外 50m 范围内路基、路面基层和路面的施工方法，应与洞内施工相同。

15.1.3 隧道内应采用满足施工要求的配套机械设备施工。

15.1.4 应尽可能就地取材，所用材料应满足相应规范要求。

15.1.5 路面基层和路面在施工以前，应根据设计类型，通过铺筑试验段确定施工配合比、控制参数、松铺系数等。

15.1.6 路基、路面基层和路面各工序管理应符合下列规定：

15.1.6.1 必须在上道工序验收合格后，才可进入下道工序。

15.1.6.2 交验时必须具备施工单位的自检、互检、专检手续、完整的施工交接记录、标高和坡度复核及其他各种测试记录。

15.1.6.3 如发现受检资料不符合要求，必须补全改正，否则不予验收。

15.1.6.4 在最后一道工序(路面)未完成时，或未达到设计强度之前，不得开放交通。

15.2 路 基

15.2.1 路基排水的施工应符合本规范 10 章规定，并符合下列规范定：

15.2.1.1 盲沟、有管渗沟以及掺水滤层的回填与夯实，应满足路基施工压实度要求。

15.2.1.2 路基通过暗河、溶洞时，应采用桥涵跨越，并进行加回处理，亦可按本规范 14.4 节有关条款处理。

15.2.1.3 渗水滤层应采用质地坚硬且纯净的砂砾石、碎石或隧道石质弃渣等材料铺设，渣体粒径不宜大于 15cm，滤层厚度宜为 10~20cm。

15.2.1.4 开挖中央水沟时，严格控制装药量，不得损坏隧道已有衬砌或其它设施。

15.2.1.5 路基施工应与疏通横向盲沟、侧沟和中央水沟同时进行。做到排水沟顺直，坡度均匀；排水管接头平顺、稳固；排水系统内不积水，排水流畅。

15.2.2 硬质路段的超挖部分应先清除软石和杂物，再用坚硬碎(砾)石材料或混凝土填补平整，并碾压密实。硬质岩欠挖路段，宜进行浅孔爆破松动，并应挖至设计标高处。

15.2.3 在软弱围岩及断面破碎地带应先清除软石和淤泥，再用硬质碎石、砂砾、片石等换填，并按设计要求的密度和平整度分层碾压，达到路基设计标高为止。

15.2.4 仰拱地段应清除虚渣，并用浆砌片石或混凝土回填至路基设计标高。

15.3 路面基层

15.3.1 路面基层应满足下列基本要求：

15.3.1.1 具有良好的稳定性、足够的强度和适宜的刚度。

15.3.1.2 排水系统良好。

15.3.1.3 平整、密实。基层路拱与路面路拱一致。

15.3.1.4 几何尺寸符合设计要求。

15.3.2 路面基层施工前应做下列准备工作：

15.3.2.1 选择与路面基层类型相适应的施工机械。

15.3.2.2 根据路面基层类型选用的基层材料，应满足选用材料的有关规定。

15.3.3 路面基层为二灰碎石、二灰矿渣时，施工应符合下列要求：

15.3.3.1 石灰质量(如钙镁含量、消解后的残渣含量、细度)应符合设计要求。

15.3.3.2 矿渣的直径不应大于 30mm，并要求崩解稳定，具有一定级配，不含杂质。矿渣重量在混合料中应占 80%~85%。

15.3.3.4 二灰稳定级配集料用作基层时，碎石最大粒径不应超过 30mm，压碎值不应大于 26%，扁平细条颗粒含量不超过 20%，并不得含粘土杂物及有害物质。集料的重量应占混合料 80%~85%。作底基层时，集料最大粒径不应超过 40mm。

15.3.3.5 配料必须准确，拌和均匀，摊铺平整。

15.3.3.6 用 12~15t 压路面碾压时，每层压实厚度不应超过 15cm；用 18~20t 压路机时，每层压实厚度不应超过 20cm。当压实厚度超过上述规定时，应分层铺筑压实，每层最小压实厚度应为 10cm。

15.3.4 路面基层为级配碎(砾)石时，施工应符合下列要求：

(1)级配碎石作基层时，碎石的最大粒径不应超过 30mm。作底基层时，碎石的最大粒径不应超过 40mm。压碎值不大于 26%。

级配砾石作基层时，砾石的最大粒径不应超过 40mm。作底基时，砾石的最大粒径不应超过 50mm。压碎值不大于 30%。

(2)配料必须准确，且拌和均匀，无粗细颗粒离析现象。

(3)人工摊铺时，松铺系数为 1.4~1.5；机械摊铺时，松铺系数为 1.25~1.35。

(4)用 12t 以上压路机时，每层压实厚度不宜超过 15~18cm，用重型振动压路机时，每层压实度宜为 20~23cm。

(5)严禁压路机在已完成碾压或正在碾压的路段上调头和刹车。

(6)两次作业的衔接处，应搭接拌和。第一段拌和后留 5~8m 暂不碾压，暂不碾压，第二段施工时，对前段留下未压部分重新拌和，并与第二段一起碾压，依此类推，直到完成。

15.3.5 路面基层为水泥稳定碎石时，施工应符合下列要求：

(1)不得使用快硬水泥、早强水泥及受潮变质水泥；

(2)碎石时的压碎值不大于 30%，且应有一定级配；

(3)施工要求按本章 15.3.3 条办理。

15.3.6 隧道内路面基层宜全幅摊铺施工；若有车辆通行，可采用半幅施工方法，但中缝对接应平整密实。

15.3.7 路面基层施工质量应满足几何尺寸允许偏差和质量标准(见表 15.3.7)。

路面基层竣工外形的合格标准值

表 15.3.7

项目	厚度 (mm)		宽度 (mm)	横坡度 (%)	平整度 (mm)	纵坡高程 (mm)	压实度 (%)
	均值	单个值					
底基层	-10	-25	+0 以上	±0.3	15	+5, -15	设计值
基层	-8	-15	+0 以上	±0.3	10	+5, -10	设计值

注：表中适用于高速公路或一级公路隧道。

15.4 路面

15.4.1 隧道路面质量应满足 15.4.1 中的规定值，并符合下列要求：

15.4.1.1 结构密实，路面平整，达到设计强度，并具有良好的耐久性、抗磨耗性和抗滑性。

15.4.1.2 不透水，抗水性好，有良好的排水系统。

15.4.1.3 抗腐蚀能力强，漫反射率高，颜色明亮，易修补。

15.4.1.4 严寒地区的隧道路面，其表面应保证有足够的粗糙度。

15.4.1.5 两则路缘每隔 10m 设置泄水孔；洞内渗水较多的区段，泄水孔间距可取 5m。泄水孔及水算应平整，其标高不得高于路缘。

水泥混凝土板竣工外形的合格标准值

表 15.4.1

项 目	抗 折 强 度 (MPa)	平 整 度 (mm)	相 邻 板 高 差 (mm)	纵 坡 高 程 (mm)	横 坡 (%)	厚 度 (mm)	宽 度 (mm)	两 缩 缝 间 长 度 (mm)	拉 毛 压 槽 深 度 (mm)
合 格 标 准 值	不 小 于 格 规 强 定 度	3	±2	±5	±0.15	±5	1/2000	±10	1~2

15.4.2 隧道路面施工应符合下列要求：

15.4.2.1 模板高度应与混凝土板设计厚度一致。厚度小于 22cm 时，可一次性浇注，厚度大于 22cm 时，可分成二次浇注，下部厚度为总厚度的 3/5。严禁在刚做好的面层上洒水和撒水泥。

15.4.2.2 捣实应从边角起开始。先用插入式振捣器振捣，每一位置持续振捣时间不少于 20s；再用平板振捣器纵横交错全面振捣，同一位置振捣时间不宜少于 30s。

15.4.2.3 纵缝(纵向缩缝和纵向施工缝)拉杆宜设在板厚中央，临近横缝时纵缝拉杆间距可适当调整。

15.4.2.4 横向缩缝宜用假缝形式，当混凝土达到设计强度的 25%~30%时，应采用切缝机进行切割。横向缩缝与其他横向缝距离不得小于 2m。

15.4.2.5 横向缝的传力杆长度的一半应固定于混凝土中，另一半沥青，允许滑动。传力杆与缝壁垂直，且与中线平行，并应与支承体一起安设。

15.4.2.6 隧道处于不良地质地段时，洞内衬砌相隔一定距离应设置沉降缝。水泥混凝土路面的横向施工缝、缩缝和胀缝应结合洞内衬砌沉降缝设置。

15.4.2.7 填缝前应清除砂石杂物，待养生期满后及时注入填缝材料。填缝注入深度宜为 3~4cm，夏季施工时注入填缝料宜与面板高度齐平，冬季施工时填缝料宜稍低于水泥混凝土面板高度。应选用粘结力强、弹性好的填缝料。

15.4.2.8 路面拉毛压槽必须使用专用工具，并在水泥浆硬结前做好。拉毛时严禁水泥浆体剥离路面，不得形成水泥渣。

15.4.3 洞内铺筑复合式路面时，必须待水泥混凝土板达到 80%设计强度后可在其上铺筑沥青混凝土罩层。沥青路面的施工和质量要求应按现行的《沥青路面施工及验收规范》执行。

16 附属设施工程

16.1 设备洞、横通道及其它

16.1.1 消防洞、设备洞、车行或人行横通道及其他各类洞室应按设计位置设置。施工中当发现原定位置地质不良时，施工单位应会同设计及建设单位对现场进行调查、研究，确定变更的位置。

16.1.2 隧道边墙内的各类洞室以及消防洞、设备洞和横通道等与正洞联接地段的开挖，一般应在正洞掘进至其位置时，将该处一次挖成。

16.1.3 当营运通风洞内段斜段的倾角大于 12° 时，宜按斜井开挖方法施工。

16.1.4 设备洞及横通道等处的施工宜采用锚喷支护，必要时尚应增设钢架支撑。支护应紧跟开挖。与正洞联接地段，支护应予以加强。

16.1.5 设备洞、横通道及其他各类洞室的永久性防、排水工程，应按设计要求施作。施作时除应按本规范 10.3 节的有关规定执行外，尚应遵守下列规定：

(1) 各类洞室及横通道与正洞联接处的防、排水工程应与正洞一次同时完成；

(2) 各类洞室及横通道与正洞联接的折角处，防水层应根据铺设面的形状平顺铺设，不得出现空白。

16.1.6 衬砌施工应符合下列要求：

(1) 认真复查防、排水工程的质量，只有在防、排水工程符合设计要求时，才可灌筑混凝土。

(2) 衬砌中各类预埋管件、预留孔、槽以及衬砌边墙内的各类洞室应按设计位置定位。模板架设时应将经过防腐与防锈处理后的预埋管、件绑扎牢固，留出各类孔、槽及边墙内的各类洞室位置。灌筑混凝土时应确保各类预埋管件、预留孔、槽及各类洞室不产生移位。

(3) 设备洞、横通道与正洞联接处的钢筋应互相联接可靠，绑扎牢固，使之成为整体。该处的衬砌应与正洞衬砌一次同时完成，不得中断。

16.1.7 电缆槽的施工应符合下列要求：

(1) 电缆槽应随边墙基础施工一次挖好，不应在边墙灌筑后再爆破开挖。

(2) 电缆槽壁中预埋的管、件、预留孔、槽，应按本节 16.1.6 条有关要求执行。槽壁与边墙应联接牢固，必要时可加设短筋。

(3) 电缆托架应镀锌防锈，并保持在同一水平面上，其高低偏差不大于 $\pm 5\text{mm}$

(4) 槽壁中每隔 50m 预埋接地引线的一端应与预埋件焊接牢固。

(5) 电缆槽盖板的制作，应平顺、整齐、无翘曲；盖板铺设应平稳，盖板两端与沟壁的缝隙应用砂浆填平，不得晃动或吊空，盖板规格应统一，可以互换。

(6) 采用多孔方管安设电缆时，其接头处应顺直联接，并作防水处理。不得使用有破损的多孔管。

16.1.8 隧道内电缆采用架空托架每隔 50m 接地一次，预埋接地引线的一端应与隧道壁内钢筋网焊接牢固。

16.1.9 隧道内吊顶隔板的施工，应符合下列要求：

(1) 吊顶隔板施工前应调整好吊顶栏杆的标高，确保吊顶隔板保持同一水平面上。

(2) 吊顶隔板施工时的脚手架及模板应架设牢固；模板安装时应设一定预拱度，保证隔板灌筑符合设计要求。

(3) 隔板钢筋与衬砌预埋钢筋及挡头板钢筋的联接必须牢固并不得外露。

(4) 吊顶隔板混凝土达到设计强度后才可拆模，且吊顶隔板不得产生下挠度；上下表面应光洁平整。按缝外亦应严密，不得漏风和渗水。

在隧道衬砌设置沉降时，隔板亦应设置相应的横向沉降缝。

(5) 吊顶拉杆露出混凝土隔板的部分应镀锌或涂防锈漆。

16.1.10 洞口遮光棚的施工除应按设计要求实施外，尚应符合下列要求：

(1) 遮光棚框架、立柱及基础位于路堤填方内时，不得因框架、立柱下纵撑和下横撑的设置而影响路堤夯实的质量；

(2) 遮光棚框架混凝土表面应光洁、美观，不允许有蜂窝、麻面；

(3) 遮光棚的施工应与洞口装饰工程一并安排，或在规定位置预留装饰工程安装时所需的孔洞。

16.2 装饰工程

16.2.1 洞门及隧道的内装饰应根据设计的装饰材料及设计要求，采用相应的施工方法进行，并应符合现行《装饰工程施工及验收规范》的有关规定。

16.2.2 装饰前应做好下列工作：

(1) 仔细检查衬砌内表面的渗漏水情况，必要时应采取做好装饰前的防、排水工作；
(2) 对于贴面装饰，应将装饰作业的表面清洗干净并作好基层；
(3) 对采用的装饰材料进行装饰试验，检查装饰敷设和喷涂的质量、颜色以及与基底层的粘结牢固程度；

(4) 各类洞室的防护门框及门扇骨架应在平整的场地上先放样；各种钢材须经调直、调平后下料加工成所需的形状，且不得产生裂纹，并按国家标准《钢结构工程施工及验收规范》的有关规定与要求办理，所有构件应涂防锈漆。

16.2.3 装饰工程施工时应符合下列要求：

(1) 装饰材料不得侵入隧道建筑限界；
(2) 洞口装饰应表面平整、清洁，隧道名牌字样要求美观、醒目；
(3) 采用面砖材料时，应作到横、竖缝能直。面砖贴好后，外表面应平整，不得出现凹凸；

(4) 采用防水隔热涂料时，其施工方法和要求，应按该材料的使用说明书进行；
(5) 采用一般内墙涂料时，色彩应符合设计要求。涂料可采用喷涂或手工粉刷，但应作到色调均匀，不得出现色斑和杂色；

(6) 离壁式装饰工程应按设计要求制作。

16.2.4 装饰工程应符合下列要求：

(1) 装饰工程应能满足各类运营设施的维修和更换的方便；
(2) 贴面装饰应做到粘结牢固、整齐、面平、美观，不允许背后有空响；
(3) 各类洞室的防护门应开启方便，严密、防火、隔热；
(4) 洞室应有标明洞室名称的标牌。

16.3 运营管理设施

16.3.1 通风机的机座与基础，应按设计要求施工。风机底盘与机座相连的地脚螺栓应按设计要求的风机底盘螺栓孔布置预留灌注孔眼。螺栓埋设时，灌浆应密实，螺栓应与机座面垂直。

射流风机的安装尚应符合下列要求：

(1) 射流风机不得侵入隧道建筑限界；
(2) 射流风机安装前应进行试运转；
(3) 射流风机安装的位置、悬吊高度及风机间的间距必须符合设计要求。安装应牢固、可靠；
(4) 风机吊装时应有安全措施。

16.3.2 通风机房内的附属设施(如吊通风机的天车、检修台等)宜在机房施工时一次完成。

16.3.3 水泵基础应置于稳固的岩层上，并按设计要求预留埋管水泵地脚螺栓的孔位。

16.3.4 蓄水池的施工应符合下列要求：

(1) 蓄水池混凝土的灌筑应做到外光内实，无渗漏；
(2) 在混凝土达到设计强度后，应进行注水试验；
(3) 设置避雷设备时，应进行接地电阻试验，其冲击接地电阻应符合设计要求。

16.3.5 管道工程的施工应注意下列事项：

(1) 沟槽开挖遇有管道、电缆或其它结构物时，应妥善保护并及时与有关单位会同处理；
(2) 沟槽开挖后，应铺设垫层并及时铺管，不应搁置过久，更不得有积水；

- (3) 管道铺设前必须清除管内污垢、杂物或浮锈，铺设应牢固；
 - (4) 吊运管道及下沟时，不得与沟壁或沟底相碰撞，且不得损坏管道的防腐层及保护层；
 - (5) 管道接口不得设在砌体内。拉口距离砌体不应小于 0.6m；
 - (6) 所有钢管、钢制管件及各种连接附件应按现行冶金工业部《给排水管道工程施工及验收规范》的有关规定进行防腐处理；
 - (7) 压力管道应采取水压检查其强度和严密性。
- 16.3.6** 同一隧道内应采用统一规格的消火栓、水枪和水笼带。隧道外输水管与消防水源及自动控制装置的联结等应按设计要求处理。
- 16.3.7** 照明灯具和配电控制板的安装、配线、电缆的敷设以及电气装置的接地工程等除应遵守现行《电气装置安装工程施工及验收规范》的有关规定外，尚应符合下列要求：
- (1) 电缆通过道路时，应采用预埋钢管保护；经过场坪时，应采用水泥槽防护；通过隧道时，应置于照明配线托盘上或穿管敷设，其它电缆应置于电缆槽内的托架上。
 - (2) 电缆和配线进入建筑物、电缆槽、配线托盘引至设备时，或在行人易于接近、易受机械损伤的地方，应采取穿管保护。
 - (3) 接地工程应配合土建施工同时进行，其隐蔽部分应在覆盖前作好测试、检查和验收。
 - (4) 接地装置应按设计要求施工，不得随意拉线或断开，接地引线数量不得任意改变。
 - (5) 接地线应防止机械损伤或化学腐蚀。
- 16.3.8** 各类设备阀件及转动部分于安装前应进行检查、清洗并润滑；阀件安装完毕后应标明开闭方向。
- 16.3.9** 安装工程所用金属配件、支撑件、紧固件应进行防锈蚀处理。