

JTG

中华人民共和国行业标准

JTG F 60—2009

公路隧道施工技术规范

Technical Specifications for Construction of Highway Tunnel

释义

2009-08-25 发布

2009-10-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据交通部交公路发[2005]354号文件要求,由中交第一公路工程局有限公司为主编单位,重庆交通科研设计院、重庆交通大学、长安大学、河南省路桥建设集团有限公司为参编单位,组成《公路隧道施工技术规范》编写组。

《公路隧道施工技术规范》(JTJ042—94)是由原中华人民共和国交通部交公路发[1994]1134号文1994年11月30日发布,1995年7月1日起施行的。由交通部重庆公路科学研究所主编。94规范实施期间是公路隧道建设飞速发展的时期,对控制公路隧道工程质量、规范施工行为等方面起到了非常重要的作用。

修订工作根据《公路工程行业标准管理导则》的要求,制定了下面4条修订原则:

1. 突出技术成熟性和先进性。
2. 强调施工关键工序的控制。
3. 与相关规范、标准协调一致。

基本内容以94版规范为基础,吸纳国内外“四新”成功应用技术。

规范修订工作进行了多方面的调查研究,历经征求意见稿阶段、送审稿阶段和报批稿阶段,每个阶段都经过交通运输部有代表性的专家讨论和审查。

《公路隧道施工技术规范》(JTG F60—2009)共19章,分别为1.总则、2.术语和符号、3.施工准备、4.施工测量、5.洞口、明洞与浅埋段工程、6.开挖、7.出渣与运输、8.支护与衬砌、9.小净距隧道及连拱隧道、10.监控量测、11.防水和排水、12.风、水、电供应、13.通风、防尘、防有害气体、14.辅助坑道、15.辅助工程措施、16.不良地质和特殊岩土地段施工、17.隧道路面施工、18.附属设施工程、19.交工验收。

《公路隧道施工技术细则》(JTG/T F60—2009)共17章,分别为1.总则、2.术语和符号、3.施工准备、4.施工测量、5.洞口、明洞与浅埋段工程、6.开挖、7.支护与衬砌、8.小净距隧道及连拱隧道、9.监控量测、10.超前地质预报、11.防水和排水、12.风、水、电供应、13.辅助坑道、14.辅助工程措施、15.不良地质和特殊岩土地段施工、16.隧道路面施工、17.附属设施工程。

主 编 单 位: 中交第一公路工程局有限公司

参 编 单 位: 重庆交通科研设计院

重庆交通大学

长安大学

河南省路桥建设集团有限公司

主要起草人: 弓天云 蒋树屏 侯金龙 刘元泉 陆仁达 程崇国 王 成 谢永利

彭国才 周 兵 王冬恒 蔡 军 王杰先 任尚强 王连成 付 钢

王先义 李宁军 王亚琼 杨晓华 李成效

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	4
2.1	术语	4
2.2	符号	6
3	施工准备	7
3.1	一般规定	7
3.2	施工场地与临时工程.....	10
3.3	施工人员、材料和设备.....	12
4	施工测量	13
5	洞口、明洞与浅埋段工程.....	23
5.1	洞口工程	23
5.2	明洞工程	23
5.3	浅埋段工程	24
5.4	质量检验及标准.....	24
6	开挖	27
6.1	一般规定	27
6.2	开挖	27
6.3	超欠挖控制	28
6.4	钻爆	29
7	出渣与运输	31
7.1	一般规定	31
7.2	出渣运输	32
7.3	装渣与卸渣	35
8	支护与衬砌	37
8.1	一般规定	37
8.2	喷射混凝土	37
8.3	锚杆	39
8.4	钢筋网	42
8.5	钢架	43
8.6	衬砌钢筋	44
8.7	模筑混凝土衬砌.....	44
8.8	仰拱和底板	49
8.9	质量检验及标准.....	2
9	小净距隧道及连拱隧道.....	6
9.1	小净距隧道	6
9.2	连拱隧道	6
10	监控量测	10
10.1	一般规定	10
10.2	量测作业	10
10.3	量测数据处理与应用.....	12
11	防水和排水	13
11.1	一般规定	13

11.2	施工防排水	13
11.3	防排水结构施工.....	14
11.4	注浆防水	17
11.5	质量检验及标准.....	22
12	风、水、电供应.....	26
12.1	供风和供水	26
12.2	供电与照明	28
13	通风、防尘、防有害气体.....	34
14	辅助坑道	44
14.1	一般规定	44
14.2	斜井	44
14.3	竖井	45
14.4	横洞与平行导坑.....	46
15	辅助工程措施.....	48
15.1	一般规定	48
15.2	稳定地层措施	48
15.3	处理涌水措施	49
15.4	质量检验及标准.....	51
16	不良地质和特殊岩土地段施工.....	52
16.1	一般规定	52
16.2	膨胀岩土	52
16.3	黄土	52
16.4	岩溶	53
16.5	含水沙层	53
16.6	瓦斯	54
16.7	岩爆	56
16.8	富水软弱破碎围岩.....	57
17	隧道路面施工.....	58
18	附属设施工程.....	60
18.1	设备洞、横通道及其他.....	60
18.2	装饰工程	60
18.3	预埋件及其他	61
19	交工验收	63
附录A	水泥混凝土抗压强度评定.....	64
附录B	水泥砂浆强度评定.....	65
附录C	喷锚支护的试验和测定方法.....	66
附录D	爆破成缝试验方法.....	68
附录E	隧道地质素描图.....	70
	本规范用词说明.....	71
	附件	72
1	总则	68
3	施工准备	70
4	施工测量	72
5	洞口、明洞与浅埋段工程.....	73
6	开挖	76
7	出渣与运输	78
8	支护与衬砌	79
9	小净距隧道及连拱隧道.....	82

10	监控量测	83
11	防水和排水	84
12	风、水、电供应.....	87
13	通风、防尘、防有害气体.....	88
14	辅助坑道	90
15	辅助工程措施.....	93
16	不良地质和特殊岩土地段施工.....	96
17	隧道路面施工.....	102
18	附属设施工程.....	103
19	交工验收	104

1 总则

根据《工程建设标准编写规定》的要求，总则应包括：制定标准的目的、标准的适用范围、标准的共性要求、执行相关标准的要求。1.0.1条为制定本规范的目的。1.0.2条为本规范的适用范围。1.0.3~1.0.9为本规范的共性要求。1.0.10为执行相关标准的要求。

1.0.1 为统一山岭公路隧道（以下统称公路隧道）工程施工的技术要求，保证工程质量，制定本规范。

隧道工程是地下工程，施工过程具有很大的不确定性。给出统一的技术要求可以减小地下工程施工时不确定性带来的风险。

隧道开挖破坏了原来地层的平衡，是一个从稳定到不稳定，再通过支护的施工达到稳定的过程。较过程中一直处于稳定状态的施工有更大的风险。对施工给出统一的技术要求可以减小该风险。

《公路隧道设计规范》“衬砌应有足够的强度和稳定性，保证隧道长期安全使用”的规定明确了隧道衬砌是永久性的重要交通基础设施。统一技术要求有助于稳定施工质量，提高隧道的耐久性。

为了在隧道施工中贯彻国家有关政策，达到隧道工程质量可靠的目的，应给出统一的技术要求。

1.0.2 本规范适用于以钻爆法开挖为主的各级公路隧道，其他形式的公路隧道可参照执行。

考虑到用盾构法施工的水底隧道和用掘进机施工的山岭隧道与用钻爆法施工的山岭隧道有极大不同，修订时对原规范“本规范适用于各级公路山岭隧道”进行了限定。

1.0.3 公路隧道施工必须遵守国家和行业的质量验收标准，建立完善的质量保证体系，制定切实可行的质量管理制度和措施，保证工程质量。

与检评标准的关系：检评标准控制验收，本规范控制施工过程。

1.0.4 公路隧道施工必须遵守国家和行业的安全生产法律法规，制定切实可行的安全制度和措施，保证施工安全。

如：《中华人民共和国安全生产法》、《安全生产许可证条例》、《爆破安全规程》（GB 6722-2003）。

1.0.5 公路隧道施工必须遵守国家的劳动保护法规，积极改善隧道施工条件，制定切实可行的通风、防尘、照明、防有害气体、防辐射措施，保证作业人员身体健康。

如：劳动法、各地的劳动保护条例、国家和地方关于劳动卫生的法律法规、《工作场所所有害因素职业接触限值》（GBZ 2）、《放射性污染的物料解控和场址开放的基本要求》（GBZ 167-2005）

1.0.6 公路隧道施工必须遵守国家关于生态保护、环境保护的法律法规，制定切实可行的防止噪声、粉尘、废水污染环境的措施，保护原有植被地貌，对施工废弃物应妥善处理，做到文明施工。

1.0.7 公路隧道施工必须遵守国家文物管理的法规，当遇有文物时，应停止施工，保护好现场，会同有关单位妥善处理，才能继续施工。

1.0.8 公路隧道施工必须遵守国家土地管理的法规，节约用地，保护耕地和林地。

1.0.9 交工时，严禁衬砌及所有附属设施侵入建筑限界。

各个施工阶段放样时都要考虑放样和施工误差，也要考虑围岩和衬砌变形量，特别是软弱围岩的沉降量。附属设施安装也要加强控制，避免他们侵界，同样也要考虑放样和施工误差，并且也要结合监控量测情况考虑特殊地质条件下围岩和衬砌的长期变形。

1.0.10 公路隧道施工除应执行本规范外，尚应符合国家和行业现行有关标准、规范的规定。

《公路隧道施工细则》：

1.0.3 公路隧道施工应按照批准的设计文件施工。在施工准备和施工过程中均应加强地质复核工作，并根据地质预测、预报及监控量测信息实施动态管理。

1、照图施工。规范管理。2、动态管理（新奥法）。新奥法的原则，有人归结为 22 条，有人归结为 17 条。核心是保护围岩，调动和发挥围岩的自承能力。从这样一个原则出发，可以根据隧道工程具体条件灵活地选择开挖方法、爆破技术、支护形式、支护施作时机和辅助工法。对围岩变形的控制，根据不同情况，有时应强调释放，有时应强调限制。其目的都是为了“保护围岩，调动和发挥围岩的自承能力。3 要控制围岩的变形，需要把握围岩的特性，这就自然要求加强地质工作。

1.0.4 公路隧道施工应**积极而慎重**地推广应用新技术、新工艺、新材料、新设备，提高管理水平和技术水平，节约能源、降低材料消耗，提高综合经济效益。

规范主要保证成熟可靠，但施工要追求先进和效率、效益，提倡应用四新，但要控制

好四新应用的风险。

1.0.5 公路隧道施工过程中，应完整地收集原始数据、资料，做好施工记录。应编写隧道施工技术总结，隧道交、竣工时应及时提交交工、竣工文件。

1.0.6 公路隧道按跨度可分为4类，见表1.0.6。

表 1.0.6 公路隧道按跨度分类

序次	按跨度分类	开挖宽度 B (m)
1	小跨度隧道	$B < 9$
2	中跨度隧道	$9 \leq B < 14$
3	大跨度隧道	$14 \leq B < 18$
4	超大跨度隧道	$B \geq 18$

按跨度对隧道分类，主要出发点是跨度对隧道施工的方法、安全等影响很大。1、单车道隧道。2、带停车带错车道的单车道隧道、双车道隧道。3、三车道隧道、有停车带的双车道隧道。4、四车道隧道

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 光面爆破 smooth blasting

设计轮廓面周边炮眼间距比开挖区小，采用不耦合装药，周边炮眼较开挖区炮眼延时并同时起爆，使岩体上出现平整轮廓面的爆破技术。

2.1.2 全断面法 full face excavation method

采用全断面一次开挖成形的施工方法。

2.1.3 正台阶法 bench cut method

将设计断面分成上、下断面（或上、中、下断面）先上后下分次开挖成形的施工方法。

2.1.4 环形开挖留核心土法 ring cut method

先开挖上部环形导坑，并进行支护，再分部开挖中部核心土、两侧边墙的施工方法。

2.1.5 中隔壁法（CD法） center diagram method

先开挖隧道一侧，并施工中隔壁，然后再开挖另一侧的施工方法。

2.1.6 交叉中隔壁法（CRD法） center cross diagram method

先开挖隧道一侧的一或二部分，施工部分中隔壁墙，再开挖隧道另一侧的一或二部分，然后再开挖最先施工一侧的最后部分，并延长中隔壁墙，施工临时仰拱，最后开挖剩余部分的施工方法。

2.1.7 双侧壁导坑法 both side drift method

先开挖隧道两侧的导坑，并进行初期支护，再分部开挖剩余部分的施工方法。

2.1.8 干喷 dry shotcrete

将水泥、集料拌合后，压送到喷嘴加水喷出的喷射混凝土施工方法。

2.1.9 初喷 First shotcrete (Application of first shotcrete)

第一层喷射混凝土，或者第一层喷射混凝土的施工。

2.1.10 复喷 Subsequent shotcrete (Application of subsequent shotcrete)

初喷以后的喷射混凝土，或者初喷以后喷射混凝土的施工。

2.1.11 喷锚支护 shotcrete and rock bolt support

由喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢架等组合成的支护结构。

2.1.12 超前支护 advanced support

在隧道施工中，对开挖工作面前方围岩进行预加固的支护。

2.1.13 管棚 pipe-roof protection

在开挖工作面的轮廓线外，按一定外插角插入带孔直径为 70~180mm 的钢管，压注水泥浆或水泥砂浆，并将钢管尾部与钢架焊接为一体形成的支护体系。

2.1.14 小导管预注浆 small pipe-roof protection

在开挖前，沿开挖面的拱部外周插入直径为 38~70mm 的带孔钢管，压注浆液。

2.1.15 锚杆 rock bolt

用钢筋、钢管等材料加工而成具有锚固、悬吊等作用的支护杆（构）件。

2.1.16 超前锚杆 pioneer rock bolt

在开挖前，沿隧道拱部按一定角度设置的起着预加固围岩作用的锚杆。

2.1.17 钢架 steel frame or beam support

用钢筋或型钢等制成的支护骨架结构。

2.1.18 中岩墙 wall of rock in neighborhood tunnel

小净距隧道上下行双洞之间岩石的简称，也叫做中岩柱、中夹岩、中夹岩墙。

2.1.19 监控量测 monitoring measurement

在隧道施工和运营阶段，通过使用各种量测仪器和工具，对围岩变化情况及支护结构的工作状态进行监测，及时提供围岩稳定程度和支护结构可靠性的信息。

2.1.20 岩爆 rock burst

在高地应力岩层中开挖隧道时，围岩应力突然释放而引起岩块爆裂的现象。

2.1.21 超前地质预报 geological prediction

通过掌子面的超前钻探、超前导坑或各种类型的地球物理探测等手段来查明隧道岩体的状态、特征以及可能发生地质灾害的不良地质体的位置、规模和性质，预测前方未施工段的地质情况。

2.1.22 瓦斯 gas

从煤（岩）层内逸出的以甲烷（CH₄）为主要成分的有害气体。

2.1.23 瓦斯浓度 gas concentration

空气中瓦斯占有量与空气体积之比，以百分数表示。

2.2 符号

A、B——回归系数

b——隧道开挖宽度

E——周边眼间距

H——隧道高度或台阶高度

h_0 ——隧道埋深

L——隧道长度或台阶长度

L_x ——照明亮度

R_b ——饱和单轴抗压极限强度

V——周边眼最小抵抗线

3 施工准备

施工准备要为施工建立必要的工、料、机、场地和技术条件，是工程施工的一个重要阶段。而隧道施工有其特殊性。首先，隧道工程是地下工程，勘测设计阶段没有探明的情况比较多，施工具有较大的不确定性。其次，本规范适用的公路隧道所遵循的新奥法原理要求对隧道设计施工进行动态化管理。隧道施工的这些特点决定了其准备工作更加重要。本章主要针对技术准备和工料机场地准备规定技术要求。

有时候把开工准备理解为开工前的施工准备，实际上施工准备贯彻始终随时都要进行，准备越充分，施工条件创造地越好，施工就会越顺利；不重视施工准备工作，会加大隧道施工的风险。

3.1 一般规定

3.1.1 隧道施工前，应熟悉设计文件，领会设计意图，做好现场调查和图纸核对工作。

3.1.1 隧道施工前应做好现场调查、核对设计文件和编制实施性施工组织设计等工作。编制实施性施工组织设计时应考虑隧道长度和断面、工期要求、地质条件和自然条件、重点及难点工程、正确的施工方法、合理施工进度，配备足够的施工机械，组织均衡生产，提高劳动生产效率。

3.1.2 施工前，应做好下列调查工作：

- 1 隧道施工对地表和地下已设结构物的影响。
- 2 交通运输条件和施工运输便道的调查。
- 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。
- 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。
- 5 调查和测试水源、水质并拟定供水方案。
- 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。
- 7 可资利用的电源、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。
- 8 当地气象、水文资料及居民点的社会状况和民族风俗。
- 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。
- 10 尚待解决的问题。

由于隧道洞口往往很陡峻、狭小，很多有沟谷径流，气象水文调查特别重要，有时要重点关注短历时洪水，有时要特别关注汇水范围内上游很远的降雨情况，这对施工场地和设施有很大影响，也关系到施工安全。

3.1.3 施工单位应全面熟悉设计文件，做好下列核对工作：

- 1 技术标准、主要技术条件、设计原则。
- 2 隧道设计的勘测资料，如地形、地貌、工程地质及水文地质、钻探图表等。
- 3 隧道平面、纵断面。
- 4 洞门位置、式样、衬砌类型、洞口周围环境及衔接工程。
- 5 设计文件中确定的施工方法、通风方案、技术措施与施工实际条件是否相符合。
- 6 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。
- 7 在建设单位主持下，会同设计单位现场交接和核对平面和高程测量控制点，遗失的应补桩，资料与现场不符的应要求更正。

地形、地貌、地质的核对工作量大，也很重要，特别是对洞口范围的不良地质的核对，对洞口安全有很大影响。大家应该吸取宜万铁路客车被砸的惨痛教训，并在施工时举一反三通过核对发祥问题，并采取适宜的辅助工程措施。

洞门位置的检查很重要，勘察设计单位勘测工作再细，也毕竟不如现场，而洞口位置队隧道的施工和运营安全影响很大，“早进晚出”原则是通过惨痛的教训总结出来的。现在也仍然有很多单位一进场就按图开挖洞口，结果洞口边仰坡开挖很高，实际上可能只要将洞门位置适当挪动一点儿，情况就会有很大的改观。另外有些洞口因为地形特别陡峻且变化突兀，勘测误差就能影响到结构形式、施工方案的变化。

第 6 款洞外排水系统和设施包括洞口和洞顶两部分，特别是洞顶截排水沟的形式和位置与洞口地形、地貌、地质是否相适应要重点核对。

3.1.4 在施工调查和设计文件核对完成后，应将结果及存在的问题，以书面形式呈送建设项目合同规定的相关建设管理单位。

3.1.2 隧道施工前，应编制实施性施工组织设计，并做好技术准备和组织落实工作。

3.1.5 实施性施工组织设计，主要应包括下列内容：

- 1 编制原则：
 - 1) 满足指导性施工组织设计的要求。
 - 2) 技术经济方案的比选，应选最优方案。
 - 3) 积极应用新技术、新工艺、新材料、新设备。
 - 4) 因地制宜，就地取材。
 - 5) 根据工程特点、工期要求，合理安排施工工序流程及衔接。
 - 6) 加强机械化施工能力，加快工程进度，确保工程质量。
 - 7) 符合国家关于工程质量、安全生产、职业健康、土地管理及环境保护的法律、法规的规定。

在这里，四新应用要注意积极和审慎并重的原则，既要积极，又要控制好四新应用的风险，包括安全、质量和环保。

工序的衔接对隧道施工效率和安全都有很重要的影响，对其他工程可能只是影响施工效率，对隧道工程施工还和安全有很大关系，在施工准备阶段就要给以充分的重视。

2 编制依据：

- 1) 承建项目的合同条件。
- 2) 批准的设计文件，国家和行业现行的标准、规范、规程。
- 3) 现场施工调查资料，主要包括交通运输、气候气象、当地建材、征地拆迁，以及能源、供水、通信、医疗等情况。
- 4) 工程施工环境及环境保护要求。

3 编制内容：

- 1) 工程概况、工程特点、重点和难点的项目。
- 2) 重点、难点工程的施工技术方案设计：施工方法及工艺、关键工序的作业实施细则、监控量测、地质预报、施工通风以及供水、供电设计等。
- 3) 施工总平面布置：生产生活区及设施、施工便道、弃渣场地、临时供电、供水、供风、通信等临时工程。
- 4) 工期安排：总进度、施工形象进度、施工网络图等。
- 5) 施工单位组织机构及资源配置：组织机构、机械设备配置、工区划分及管理、劳动力配置、材料供应、资金使用计划等。
- 6) 施工保证措施：质量目标、创优规划及保证措施、施工生产安全目标及保证措施、职业健康及医疗保证措施、工期目标及保证措施、成本目标和保证措施、环境保护措施等。
- 7) 发生自然灾害、紧急情况时的应急预案。
- 8) 附图及各种表格。
- 9) 安全管理和安全保证体系的组织机构，包括项目经理、专职安全管理人员、特种作业人员配备的数量及安全资格培训持证上岗情况。
- 10) 施工安全生产责任制、安全管理规章制度、安全操作规程。
- 11) 安全防护用具的配备。
- 12) 施工现场临时用电方案的安全技术措施和电气防火措施。
- 13) 针对重点部位和重点环节制定的工程项目危险源监控措施和应急预案。
- 14) 施工人员安全教育计划、安全交底安排。
- 15) 安全技术措施费用的使用计划。

3.1.6 实施性施工组织设计应报监理工程师及相关部门，按程序批准后实施；在实施过程中应根据客观条件、生产资源配置变化情况及时调整施工组织设计，并呈送监理批准，实行动态管理。

为什么要编制施工组织设计？我想主要是为了避免随意施工，优化方案，保证施工组织的科学高效和安全、可靠、适宜。如果不根据变化调整施组，则过于死板，而调整施组不按程序来，就失去编制施组的意义。

3.1.3 应根据工程规模、技术要求等建立工地试验室。

3.1.4 隧道施工应加强地质工作，重视跟踪地质调查与超前地质预报。

3.1.5 公路隧道施工过程中，应完整收集原始数据、资料，做好施工记录，编写隧道施工技术总结。

3.1.7 隧道开工前，应完成洞口前可能干扰洞身施工的相关工程。

3.1.8 应根据施工规模、技术要求等建立工地试验室，并通过政府相关部门的验收。隧道开工前，应提前做好混凝土配合比并报送监理批准。

3.2 施工场地与临时工程

3.2.1 施工场地应结合工程规模、工期、地形特点、弃渣场和水源等情况进行合理布置。

3.2.2 弃渣场地布置应满足安全、环保的要求，并方便弃碴。

3.2.3 临时工程应满足安全和便于施工活动正常开展的需要。

临时工程都要满足安全的需要，而隧道的临时工程对安全的需要尤为明显。

3.2.4 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。

绝大多数隧道施工场地都非常紧张，地形陡峻、狭小，很多有沟谷径流，很容易忽视上述灾害的威胁，而这些灾害一旦发生，就是毁灭性的，是我们所不能承受的。所以一定要搞好自然灾害的调查，并严格遵守本条的规定。

3.2.5 爆破器材库、油库的位置应符合有关规定。

3.2.1 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，并满足下列要求：

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。
- 9 确定风、水、电设施的位置。
- 10 混凝土拌合站和预制场的位置。

3.2.2 弃渣场地的布置应满足下列要求：

- 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，不得挤压桥梁墩台及其他建筑物。
- 5 弃渣场堆的边坡应作防护，防止水土流失。

弃渣场要根据弃渣量事先做好设计规划，包括边坡坡度、防护形式、排水设施、占地范围等。如果实际弃渣量远大于弃渣场容量，弃渣场扩容会非常麻烦；如果没有随弃随护，弃渣防护的施工将会非常困难，有时甚至无法施工而必须变更设计；如果排水设计不好或者施工不到位，可能会形成水毁。

3.2.3 临时工程应满足下列要求：

- 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，满足行车安全要求，并经常养护，保证畅通。
- 3 风、水、电设施宜靠近洞口布置，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。各种房屋应遵守消防安全规定。爆破器材库、油库的位置应符合有关规定。
- 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。
- 6 临时工程及场地布置时应采取措施保护自然环境。
- 7 临时工程的布置应考虑突发性自然灾害，并制定相应的应急预案。

洞口多陡峻，便道修建条件差。但修建时应符合规范要求，保证便道的使用安全，满足便道运输钢筋、水泥、台车等的需要。

3.3 施工人员、材料和设备

- 3.3.1 从事隧道施工的各类特殊岗位人员均应持证上岗。
 - 3.3.2 隧道施工前应对施工人员进行安全培训和安全、技术交底。
 - 3.3.3 应做好工程所需材料的选择和相关检测、试验工作。
 - 3.3.4 应配备满足工程需要的施工设备和仪器，并完成相应检定工作。
-
- 3.3.1 应根据工程规模、工期和技术难度配备相应的管理、技术、测量、试验、环保、专职质量检查和安全监督人员。从事隧道施工的作业人员应经过岗前专业培训，全面接受安全、职业健康等教育，符合有关规定，持证上岗。
 - 3.3.2 隧道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，对施工人员进行安全教育、技术交底和培训。
 - 3.3.3 隧道开工前，应根据施工进度计划要求提前预备工程所需的各种材料。材料进场时应按批次进行检测、试验工作。同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的材料为一批，每批抽样不少于一组。
 - 3.3.4 应根据实施性施工组织设计的要求，配备污染小、能耗低、效率高的施工机械和、机具设备。
 - 3.3.5 应配备好量测和超前地质预报所需仪器设备。

4 施工测量

1、多数隧道要对向施工，两个工作面分别使用不同的导线，而两个工作面还要实现贯通，并且不能误差过大。2、隧道测量条件较差。地面起伏大且视线不好，洞内场地狭窄、受施工影响大、有旁遮光影响、视线很不好。这两个特点决定我们必须重视隧道施工测量工作，加强测量的过程控制。

4.0.1 施工前应进行测量方案设计，选定控制测量等级，确定测量方法，估算误差范围。

《细则》给出了隧道工程测量等级的具体规定。一方面要注意和《公路勘测规范》、《公路勘测细则》、《公路全球定位系统 (GPS) 测量规范》、《全球定位系统 (GPS) 测量规范 GB-T18314》相协调，另一方面更关键的还是估算的贯通误差能否满足设计要求。超长隧道如果估算限值不能满足规范要求，应采取工程措施保证不侵界。

4.0.2 施工前应对设计交桩进行复测。

4.0.3 当洞内有瓦斯等易燃易爆气体时，测量工作必须采取防爆措施。

防爆措施主要有两种，一是采用防爆型测量仪器，二是加强通风和检测，保证测量仪器周围 20 米以内瓦斯等可燃气体的浓度低于允许值。即使采用防爆型测量仪器，即使是低瓦斯隧道，都也要加强测量仪器周围 20 米范围内的瓦检，保证测量工作时瓦斯浓度低于允许值 (0.5%)，因为可能会有局部瓦斯积聚。

4.0.4 控制测量应符合下列规定：

1 控制测量桩点必须稳固、可靠。

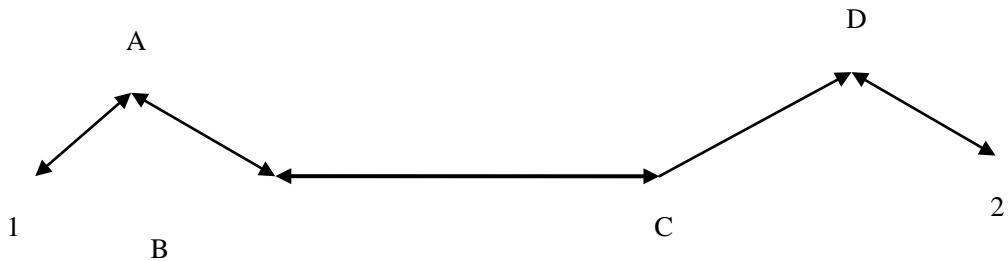
2 测量工作中的各项计算，均应由两组独立进行；计算过程中应及时校核，发现问题应及时检查，并找出原因。

3 隧道洞外控制测量应在隧道进洞施工前完成。

4 用于测量的设计图资料应认真核对，确认无误后方可使用，引用数据资料必须核对。

5 在控制网误差调整时，不得将低等级平面和高程控制网的误差传入隧道控制网。

除了计算的复核外，还应对输入测量仪器的数据、测量仪器控制参数、测量数据计算机后处理时选择参数等的复核。通过对计算和测量的全过程复核和测量冗余避免粗差、提高精度。



如上图所示：A—B—C—D 为隧道三等平面控制网，1、2 为线路四等平面控制网点，A、B、C、D 可参加评差，1、2 不能参与其评差。

4.0.5 用中线法进行洞内测量的隧道，中线点点位横向偏差不得大于 5mm。

4.0.6 隧道贯通后，贯通误差调整后的线路中线应满足现行《公路路线设计规范》(JTG D20) 的要求。

4.0.7 交（竣）工验收时，应提交隧道总体检验项目结果，见表 4.0.7。

表 4.0.7 隧道总体检验项目表

序次	检查项目	规定值或允许偏差	检验方法
1	车行道宽 (mm)	±10	丈量：每 20m (曲线) 或 50m (直线) 检查一次
2	净总宽 (mm)	不小于设计	丈量：每 20m (曲线) 或 50m (直线) 检查一处
3	隧道净高 (mm)	不小于设计	水准仪：每 20m (曲线) 或 50m (直线) 测一断面，每个断面测拱顶和拱腰 3 个点
4	隧道偏位 (mm)	20	全站仪：每 20m (曲线) 或 50m (直线) 检查一处
5	路线中心线与隧道中心线的衔接 (mm)	20	分别将引道中心线和隧道中心线延长至两侧洞口，比较其平面位置
6	边坡、仰坡的坡度	不大于设计	坡度板：检查 10 处

4.0.8 隧道施工测量除应符合本规范的规定外，尚应符合现行《公路勘测规范》(JTG C10) 的有关规定。

4.1 一般规定

4.1.1 隧道施工测量的平面坐标系和高程系统应与定测隧道控制网坐标系和高程系统一致。平面控制网的运算及平差计算的基准平面，宜采用隧道纵断面设计高程的平均高程面。

投影长度变形值宜不大于 10mm/km。

如果不能满足，要分段设定基准平面。定测控制网应该是满足这条规定的，那么我们复测控制网和加密控制网应该也没有问题。但要有这个概念，万一定测存在这个问题而交桩时没有交代，我们在复测中要搞清楚。

4.1.2 隧道施工测量方案设计，应根据隧道规模和贯通误差要求，综合考虑控制网等级和图形、测量仪器精度和测量方法，估算误差范围，确保测量结果能够满足工程需要。

这一条是对《规范》4.0.1 条的细化。

4.1.3 隧道平面和高程控制网桩点的交接应由建设单位主持，由设计单位向施工单位逐桩逐点交付资料确认桩点，遗失的应由设计单位补桩，资料与现场不符的应更正。施工单位对设计交桩的复测结果应报送监理工程师批准。

4.1.4 控制测量对隧道两相向施工贯通面的贯通中误差影响值应符合表 4.1.4 的规定。

表 4.1.4 贯通中误差

测量部位	两开挖洞口间长度（m）			高程中误差 （mm）
	L<3000	3000≤L<6000	L≥6000	
	横向贯通中误差允许值（mm）			
洞外	≤±45	≤±60	≤±90	≤±25
洞内	≤±60	≤±80	≤±120	≤±25
整个贯通区间	≤±75	≤±100	≤±150	≤±35

注：利用竖井联系测量的控制网的贯通误差允许值应根据测量设计确定。

4.1.5 隧道施工测量所用仪器，应按现行《中华人民共和国计量法》及相关法规检定和维护，确保达到标称精度要求。

4.1.6 瓦斯隧道施工测量防爆措施包括：

- 1 采用检测通风等手段保证测量作业区瓦斯浓度小于 0.5%。
- 2 采用防爆型测量仪器。

4.2 控制测量

4.2.1 平面控制测量可采用 GPS 测量、三角测量、三边测量和导线测量。洞外平面控制测量宜利用已有的定测控制网，并符合本细则关于隧道贯通误差的有关规定和隧道施工的要求。隧道平面控制测量等级应按表 4.2.1 确定。

表 4.2.1 隧道平面控制测量等级表

隧道长度 L (m)	测量等级
L≥6000	二等

$3000 \leq L < 6000$	三等
$1000 \leq L < 3000$	四等
$L < 1000$	一级

4.2.2 三角测量、三边测量和导线测量的技术要求应符合表 4.2.2-1 至表 4.2.2-7 的规定。

表 4.2.2-1 三角测量技术要求

测量等级	测角中误差 (″)	起始边边长 相对中误差	测回数			三角形闭合 差 (″)
			DJ ₁	DJ ₂	DJ ₆	
二等	$\leq \pm 1.0$	$\leq 1/250\ 000$	≥ 12	—	—	$\leq \pm 3.5$
三等	$\leq \pm 1.8$	$\leq 1/150\ 000$	≥ 6	≥ 9	—	$\leq \pm 7.0$
四等	$\leq \pm 2.5$	$\leq 1/100\ 000$	≥ 4	≥ 6	—	$\leq \pm 9.0$
一级	$\leq \pm 5.0$	$\leq 1/40\ 000$	—	≥ 3	≥ 4	$\leq \pm 15.0$

表 4.2.2-2 三边测量的技术要求

测量等级	测距中误差 (mm)	测距相对中误差
二等	$\leq \pm 9.0$	$\leq 1/330\ 000$
三等	$\leq \pm 14.0$	$\leq 1/140\ 000$
四等	$\leq \pm 10.0$	$\leq 1/100\ 000$
一级	$\leq \pm 14.0$	$\leq 1/35\ 000$

表 4.2.2-3 导线测量技术要求

测量等级	附(闭)合导线长度 (km)	边数	每边测距中误差 (mm)	单位权中误差 (″)	导线全长相对闭合差	方位角闭合差 (″)
三等	≤ 18	≤ 9	$\leq \pm 14$	$\leq \pm 1.8$	$1/52\ 000$	$\pm 3.6\sqrt{n}$
四等	≤ 12	≤ 12	$\leq \pm 10$	$\leq \pm 2.5$	$1/35\ 000$	$\pm 5\sqrt{n}$
一级	≤ 6	≤ 12	$\leq \pm 14$	$\leq \pm 5.0$	$1/17\ 000$	$\pm 10\sqrt{n}$

注：① 表中 n 为测站数。

② 以测角中误差为单位权中误差。

③ 导线网节点间长度不得大于表中长度的 0.7 倍。

表 4.2.2-4 水平角方向观测技术要求

测量等级	仪器型号	光学测微器两次重合读数之差 (″)	半测回归零差 (″)	一测回中 2 倍照准差较差 (″)	同一方向值各测回间较差 (″)	测回数
二等	DJ ₁	≤ 1	≤ 6	≤ 9	≤ 6	≥ 12
三等	DJ ₁	≤ 1	≤ 6	≤ 9	≤ 6	≥ 6
	DJ ₂	≤ 3	≤ 8	≤ 13	≤ 9	≥ 10

四等	DJ ₁	≤1	≤6	≤9	≤6	≥4
	DJ ₂	≤3	≤8	≤13	≤9	≥6
一级	DJ ₂	—	≤12	≤18	≤12	≥2
	DJ ₆	—	≤24	—	≤24	≥4

注：当观测方向的垂直角超过±3°的范围时，该方向一测回中2倍照准差较差，可按同一观察时段内相邻测回同方向进行比较。

表 4.2.2-5 测距的主要技术要求

平面控制网测量等级	测距仪精度等级	观测次数		每边测回数		一测回读数较差 (mm)	单程各测回较差 (mm)	往返较差
		往	返	往	返			
二等	I	≥1	≥1	≥4	≥4	≤5	≤7	$\leq \sqrt{2}(a+b \cdot D)$
三等	I、II	≥1	≥1	≥3	≥3	≤5	≤7	
四等	I、II、III	≥1	≥1	≥2	≥2	≤7	≤10	
一级	I、II、III	≥1	—	≥2	—	≤7	≤10	

注：①测回是指照准目标1次，读数4次的过程；
 ②根据具体情况，测边可采取不同时间段观测代替往返观测；
 ③a——标称精度中的固定误差 (mm)；
 b——标称精度中的比例误差系数 (mm/km)；
 D——测距长度 (km)。

表 4.2.2-6 测距仪精度等级表

测距仪精度等级	每公里测距中误差 m_0 (mm)	平面控制测量等级
I 级	$m_0 \leq \pm 5$	二、三、四等，一级
II 级	$\pm 5 < m_0 \leq \pm 10$	三、四等，一级
III 级	$\pm 10 < m_0 \leq \pm 20$	一级

表 4.2.2-7 角度、长度、坐标的数字取位要求

测量等级	角度 (")	长度 (m)	坐标 (m)
二等	0.01	0.0001	0.0001
三、四等	0.1	0.001	0.001
一、二级	1	0.001	0.001

4.2.3 高程控制测量应符合下列规定：

1 高程控制测量宜采用水准测量，洞外四、五等高程控制测量也可采用光电测距三角高程测量。隧道高程控制测量等级可按表 4.2.3-1 确定。

表 4.2.3-1 隧道高程控制测量等级表

隧道长度	测量等级	水准线路最大长度 (km)
$L \geq 6000$	二等	600

$3000 \leq L < 6000$	三等	60
$L < 3000$	四等	25

2 高程控制点可利用稳固坚硬的基岩刻凿，如无稳固坚硬的基岩可以利用，应埋设有金属标志的混凝土桩。

3 水准测量的主要技术要求应符合表 4.2.3-2 和表 4.2.3-3 及表 4.2.3-4 的规定。

4 高程控制网的竖井联系测量应采用全站仪或光电测距仪传递高程。

表 4.2.3-2 水准测量的主要技术要求

测量等级	往返较差、附合或环线闭合差 (mm)		检测已测测段高差之差 (mm)
	平原、微丘	山岭、重丘	
二等	$\leq 4\sqrt{l}$	$\leq 4\sqrt{l}$	$\leq 6\sqrt{l_i}$
三等	$\leq 12\sqrt{l}$	$\leq 3.5\sqrt{n}$ 或 $\leq 15\sqrt{l}$	$\leq 20\sqrt{l_i}$
四等	$\leq 20\sqrt{l}$	$\leq 6.0\sqrt{n}$ 或 $\leq 25\sqrt{l}$	$\leq 30\sqrt{l_i}$
五等	$\leq 30\sqrt{l}$	$\leq 45\sqrt{l}$	$\leq 40\sqrt{l_i}$

注：计算往返较差时， l 为水准点间的路线长度 (km)；计算附合或环线闭合差时， l 为附合或环线的路线长度 (km)； n 为测站数。 l_i 为检测测段长度 (km)，小于 1km 时按 1km 计算。

表 4.2.3-3 水准测量观测的主要技术要求

测量等级	仪器类型	水准尺类型	视线长 (m)	前后视较差 (m)	前后视累积差 (m)	视线离地面最低高度 (m)	基辅 (黑红) 面读数差 (mm)	基辅 (黑红) 面高差较差 (mm)
二等	DS ₀₅	铟瓦	≤ 50	≤ 1	≤ 3	≥ 0.3	≤ 0.4	≤ 0.6
三等	DS ₁	铟瓦	≤ 100	≤ 3	≤ 6	≥ 0.3	≤ 1.0	≤ 1.5
	DS ₂	双面	≤ 75				≤ 2.0	≤ 3.0
四等	DS ₃	双面	≤ 100	≤ 5	≤ 10	≥ 0.2	≤ 3.0	≤ 5.0
五等	DS ₃	单面	≤ 100	≤ 10	—	—	—	≤ 7.0

表 4.2.3-4 高程测量的数字取位要求

测量等级	各测站高差 (mm)	往返测距离 总和 (km)	往返测距离中数 (km)	往返测高差总和 (mm)	往返测高差 中数 (mm)	高程 (mm)
各等	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1

4.2.4 GPS 控制测量应根据隧道贯通精度的要求按静态相对定位原理建网。GPS 基线测量的中误差应小于按式 (4.2.4) 计算的标准差, 固定误差 a、比例误差系数 b 的取值应符合表 4.2.4-1 的规定。GPS 观测的主要技术要求应符合表 4.2.4-2 的规定。

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (bd)^2} \quad (\text{公式 4.2.4})$$

式中: σ ——标准差 (mm);
d——基线长度 (km)
a——固定误差 (mm)
b——比例误差系数 (mm/km)

表 4.2.4-1 GPS 测量的主要技术要求

级别	固定误差 a (mm)	比例误差 b (mm/km)
二等	≤5	≤1
三等	≤5	≤2
四等	≤5	≤3
一级	≤10	≤3

表 4.2.4-2 GPS 观测的主要技术要求

测量等级		二等	三等	四等	一级
卫星高度角 (°)		≥15	≥15	≥15	≥15
时段长度	静态 (min)	≥240	≥90	≥60	≥45
	快速静态 (min)	—	≥30	≥20	≥15
平均重复设站数 (次/点)		≥4	≥2	≥1.6	≥1.4
同时观测有效卫星数 (个)		≥4	≥4	≥4	≥4
数据采样率 (s)		≤30	≤30	≤30	≤30
GDOP		≤6	≤6	≤6	≤6

4.2.5 洞内平面控制测量应符合下列规定:

- 1 洞内平面控制测量宜采用导线测量。洞内导线应布置成多边形导线环。
- 2 洞内导线, 应根据贯通精度的要求布点, 宜选择在施工干扰小、稳固可靠、通视良好的地方; 施工时应保护好导线点。导线边长在直线地段不宜小于 200m, 在曲线地段不宜小于 70m。

3 联系洞外和洞内的控制测量，宜选在洞外和洞内观测条件接近的时段进行观测。

主要是为了减少因洞内外不同观测条件产生的误差。

4 平面控制测量的竖井联系测量应采用光学垂准仪投点、陀螺仪辅助定向。应根据竖井长度和贯通精度要求选择测量仪器和测量方法，估算贯通误差，调整并确定测量方案。

因联系测量精度较洞外甚至洞内测量低，为了满足贯通精度的要求，可提高对其他部分控制网的精度要求，来弥补联系测量部分的损失。

4.2.6 每个洞口应设不少于 3 个平面控制点，2 个高程控制点。隧道控制测量桩点应定期进行复核。

4.3 放样测量

4.3.1 用导线法进行洞内控制测量的隧道，需要使用施工中线点放样时，应由洞内导线测设施工中线。

4.3.2 用中线法进行洞内测量的隧道，中线点点位横向偏差不得大于 5mm；中线点间距曲线部分不宜短于 50m，直线部分不宜短于 100m；直线地段宜采用正倒镜延伸直线法。

4.3.3 特长隧道、长隧道宜用激光设备导向。

4.3.4 开挖前应校核中线点，并在开挖断面上标出设计断面轮廓线。开挖工作完成后应及时测量超欠挖并绘出断面图。

4.3.5 两端开挖至贯通误差调整地段时，开挖断面宜适当加宽，加宽值不宜超过贯通极限误差允许值的一半。二次衬砌在贯通前施工时，贯通误差调整地段开挖断面必须加宽。

4.3.6 供衬砌用的临时中线点，其间距宜与模板台车长度一致。

4.3.7 防水板施工前，应复核中线位置和高程，检查断面尺寸，保证衬砌施工后的衬砌厚度和净空满足规范和设计要求。衬砌模板立模后应进行检查和校正。

主要是为了避免二衬施工时检查发现问题，处理超欠挖造成防水板破损。

4.3.8 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。

4.3.9 辅助坑道施工测量要求可参照正洞施工测量。斜井测量宜用激光设备导向。

4.3.10 在开挖断面形成后，应及时进行断面测量，根据测量数据修正开挖参数，控制超欠挖。宜使用断面仪进行断面测量。

主要是为了避免二衬施工时检查发现问题，处理超欠挖造成防水板破损。

4.4 贯通误差的测定及调整

4.4.1 贯通误差的测定应按下列要求进行：

1 采用导线法测量时，在贯通面附近定一临时点，由进出的两方向分别测量该点的坐标，所得的闭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，并在贯通面上分别得出中线点，量出两点的横向和纵向距离，即为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高程控制点或中线点上，所测得的高程差值即为实际的高程贯通误差。

4.4.2 隧道贯通后，洞内导线、施工中线及高程的实际贯通误差，应在贯通面两侧未衬砌段调整，该贯通误差调整段的长度应根据中线形式、贯通误差值、支护和衬砌（包括仰拱）施工情况综合确定，不宜小于 200m（贯通面两侧对称）。该段的后续工序均应以调整后的中线及高程为准进行放样。

4.4.3 采用导线法测量，贯通误差不超过允许值时，应按下列要求进行贯通误差调整：

- 1 方位角贯通误差分配在未衬砌地段（该段长度不应小于 200m）的导线角上。
- 2 坐标闭合差在贯通误差调整段的导线上，按边长比例分配。
- 3 采用调整后的导线坐标作为贯通误差调整段的放样依据。

4.4.4 采用中线法测量，贯通误差不超过允许值时，应按下列要求进行贯通误差调整：

1 贯通误差调整段为直线时，宜通过加设曲线来调整线路中线，所加设的曲线参数应满足现行《公路路线设计规范》（JTG D20）的要求。

2 贯通误差调整段全部位于圆曲线地段时，贯通误差应由曲线的两端向贯通面按长度比例调整中线。

3 贯通误差调整段既有直线又有曲线时，宜通过调整曲线偏角和曲线起（终）点位置调整线路中线，满足现行《公路路线设计规范》（JTG D20）规定，并能保证隧道净空。

4.4.5 高程贯通误差不超过允许值时，贯通点附近的高程控制点，应采用由两端分别引测的高程平均值作为调整后的高程，将高程贯通误差的一半分别在贯通面两端未衬砌地段的高程控制点上按水准线路长度的比例调整。

4.5 交（竣）工测量

4.5.1 应在中线复测的基础上埋设永久中线点，永久中线点应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。

4.5.2 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。

4.5.3 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。

4.5.4 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。

5 洞口、明洞与浅埋段工程

5.1 洞口工程

- 5.1.1 洞口开挖和进洞施工宜避开雨期、融雪期及严寒季节。
- 5.1.2 边坡和仰坡以上可能滑塌的表土、灌木及山坡危石等应清除或加固。
- 5.1.3 不良地质段应在进洞前按设计要求对地表及仰坡进行加固防护。
- 5.1.4 洞口边坡及仰坡应自上而下开挖，不得掏底开挖或上下重叠开挖。洞口有邻近建（构）筑物时，应采取微震动控制爆破。当地质条件不良时应采取稳定边坡和仰坡的措施。
- 5.1.5 应随时检查边坡和仰坡的变形状态，发现不稳定现象，及时采取措施，保证施工安全。
- 5.1.6 洞口边、仰坡排水系统应在雨季之前完成。
- 5.1.7 隧道排水应与洞外排水系统合理连接，不得侵蚀软化隧道和明洞基础，不得冲刷路基坡面及桥涵锥坡等设施。
- 5.1.8 应对地表沉降和拱顶下沉进行监控量测，并适当增加量测频率。
- 5.1.9 洞口永久性挡护工程应紧跟土石方开挖及早完成。地基承载力应满足设计要求。

5.2 明洞工程

- 5.2.1 明洞边坡开挖应根据设计要求采取岩土体加固措施。明洞衬砌施工应仰拱先行、拱墙整体浇筑。
- 5.2.2 明洞石质开挖应防止爆破影响边仰坡的稳定。
- 5.2.3 明洞边墙地基承载力应满足设计要求。边墙基础混凝土灌注前应排除坑内积水，完成后应及时回填。
- 5.2.4 明洞衬砌施工应符合本规范第 8 章的有关规定。明洞衬砌与暗洞衬砌应连接良好。
- 5.2.5 明洞拱圈外模拆除后应及时按设计做好防水层及拱脚处的纵向盲沟，保证排水通畅。并应符合本规范第 11 章的有关规定。
- 5.2.6 明洞拱圈混凝土达到设计强度后由人工夯实回填至拱顶以上 1m，方可采用机械回填。

5.3 浅埋段工程

5.3.1 浅埋段施工应符合下列规定：

- 1 不应采用全断面法开挖。
- 2 开挖后应尽快进行初期支护施工。
- 3 应增加对地表沉降、拱顶下沉的量测及反馈。量测频率不宜小于深埋段时的 2 倍。

5.4 质量检验及标准

5.4.1 洞门端墙、翼墙和挡土墙基坑开挖施工质量应符合表 5.4.1 规定。

表 5.4.1 洞门端墙、翼墙、挡土墙基坑开挖质量标准

序号	项目	允许偏差 (mm)	检验方法
1	基坑中心线距路线中心线	+50, 0	尺量, 每边不少于 5 处
2	基坑长度、宽度	+100, 0	尺量, 每边不少于 5 处
3	基坑高程	0, -100	水准仪测量, 每边不少于 5 处

5.4.2 洞门端墙、翼墙、挡土墙模板安装质量应符合表 5.4.2 规定。

表 5.4.2 洞门端墙、翼墙、挡土墙模板安装质量标准

序号	项目	规定值或允许偏差 (mm)	检验方法
1	基础边缘位置	+15, 0	测量, 每边不少于 4 处
2	基础顶面标高	±10	
3	边墙边缘位置	±10, 0	
4	边墙拱脚、端翼墙面顶面高程	±10	
5	模板表面平整度	5	2m 靠尺测量, 不少于 4 处
6	模板表面错台	2	尺量
7	预留孔洞	+10, 0	尺量

5.4.3 洞门混凝土端墙、翼墙和挡土墙质量应符合表 5.4.3 规定。

表 5.4.3 洞门混凝土端墙、翼墙和挡土墙质量标准

序号	项目	规定值或	检验方法
----	----	------	------

		允许偏差 (mm)	
1	强度	在合格标准内	按附录 A 检验
2	平面位置	50	仪器测量, 每边不少于 4 处
3	断面尺寸	不小于设计	
4	顶面高程	±20	
5	底面高程	±50	
6	表面平整度	5	2m 靠尺测量, 拱部不少于 2 处, 墙身不少于 4 处
7	竖直度或坡度 (%)	0.5	吊垂线: 每边不少于 4 处

5.4.4 洞门砌体端墙、翼墙和挡土墙质量应符合表 5.4.4 规定。

表 5.4.4 洞门砌体端墙、翼墙和挡土墙质量标准

序号	项目		规定值或 允许偏差 (mm)	检验方法
1	砂浆强度		在合格标准内	按附录 B 检验
2	平面位置		50	仪器测量, 每边不少于 4 处 2m 靠尺测量, 拱部不少于 2 处, 墙身不少于 4 处
3	断面尺寸		不小于设计	
4	顶面高程		±20	
5	底面高程		±50	
6	表面平整度	块石	20	2m 靠尺测量, 拱部不少于 2 处, 墙身不少于 4 处
		料石	30	
		混凝土块料石	10	
7	竖直度或坡度 (%)		0.5	吊垂线: 每边不少于 4 处

5.4.5 明洞的回填及防水层质量应符合表 5.4.5 规定。

表 5.4.5 明洞回填及防水层质量标准

序号	项目	规定值或允许偏差 (mm)	检验方法
1	卷材搭接长度	≥100	尺量, 每环测 3 处
2	卷材向隧道延伸长度	≥500	尺量, 检查 5 处

3	卷材在基底的横向长度	≥ 500	尺量，检查 5 处
4	沥青防水层每层厚度	2	尺量，检查 10 点
5	回填层厚	≤ 300	尺量，每层检查至少每侧 5 点
6	两侧回填高差	≤ 500	水准仪，检查 5 处
7	坡度	不大于设计	尺量，检查 3 处
8	回填压实	压实质量符合设计要求	厚度及碾压遍数符合要求

6 开 挖

6.1 一般规定

6.1.1 应根据隧道长度、断面大小、结构形式、工期要求、机械设备、地质条件等，选择适宜的开挖方案。

6.1.2 开挖作业应符合下列规定：

- 1 开挖断面尺寸应满足设计要求。
- 2 爆破后，应及时对开挖面和未衬砌地段进行检查，对可能出现的险情，应采取措施及时处理。
- 3 开挖作业不得危及初期支护、衬砌和设备的安全，并应保护好量测用的测点。
- 4 开挖后，应做好地质构造的核对和监控量测工作。
- 5 开挖作业必须保证安全。

6.1.3 隧道爆破应采用光面爆破技术。

6.1.4 爆破作业及爆破物品管理，必须符合现行《爆破安全规程》（GB6722）有关规定。

6.1.5 隧道双向开挖接近贯通时，两端施工应加强联系，统一指挥。当两开挖面间距离剩下 15~30m 时，应改为单向开挖，并落实贯通面的安全措施，直到贯通为止。

6.1.6 有瓦斯地层开挖时，除应符合本规范第 16.6 节的规定外，尚应符合现行《煤矿安全规程》的相关规定。

6.2 开挖

6.2.1 全断面法施工应符合下列规定：

- 1 围岩自稳性好，无地下水出露或出露量不大。
- 2 采用大型机械配套工序作业。
- 3 超前开挖导洞时，应控制开挖距离。

6.2.2 台阶法施工应符合下列规定：

- 1 台阶长度不宜超过隧道开挖宽度的 1.5 倍。台阶不宜多分层。
- 2 上台阶钢架施工时，应采取有效措施控制其下沉和变形。
- 3 下台阶应在上台阶喷射混凝土强度达到设计强度的 70%后开挖。

6.2.3 环形开挖留核心土法施工应符合下列规定：

- 1 环形开挖进尺宜为 0.5~1.0m；核心土面积应不小于整个断面面积的 50%。

2 开挖后应及时施工喷锚支护、安设钢架支撑，相邻钢架必须用钢筋连接，并按设计要求施工锁脚锚杆。

3 围岩地质条件差，自稳时间短时，开挖前应按要求进行超前支护。

4 核心土与下台阶开挖应在上台阶支护完成后、喷射混凝土强度达到设计强度的 70% 后进行。

6.2.4 中隔壁法或交叉中隔壁法开挖时应符合下列规定：

1 初期支护完成后方可进行下一分部开挖。地质较差时，每个台阶底部应按设计要求设临时钢架或临时仰拱。

2 各部开挖时，周边轮廓应尽量圆顺。

3 应在先开挖侧喷射混凝土强度达到设计要求后进行另一侧开挖。

4 左右两侧导坑开挖工作面的纵向间距不宜小于 15m。

5 当开挖形成全断面时，应及时完成全断面初期支护闭合。

6 中隔壁及临时支撑应在浇筑二次衬砌时，逐段拆除。

6.2.5 双侧壁导坑法施工应符合下列规定：

1 侧壁导坑开挖后，应及时施工初期支护并尽早形成封闭环。

2 侧壁导坑形状应近于椭圆形断面，导坑跨度宜为整个隧道跨度的三分之一。

3 左右导坑施工时，前后拉开距离不宜小于 15m。

4 导坑与中间土体同时施工时，导坑应超前 30~50m。

6.2.6 仰拱部位开挖应符合下列规定：

1 挖至设计高程时，底面应圆顺，清除应渣物。

2 做好排水设施，清除积水。

3 隧道底两隅与侧墙联接处应圆顺。

4 仰拱部开挖时，应采取措施保证施工交通安全。

6.3 超欠挖控制

6.3.1 应严格控制欠挖。拱脚、墙脚以上 1m 范围内断面严禁欠挖。

6.3.2 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 6.3.2。平均超挖值按公式 (6.3.2) 计算。

$$\text{平均超挖值} = \frac{\text{超挖面积}}{\text{爆破设计开挖断面周长（不包括隧底）}} \quad (6.3.2)$$

表 6.3.2 平均和最大允许超挖值（单位：mm）

项 目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
拱部 (mm)	破碎岩，土 (IV、V 级围岩)	平均 100，最大 150	水准仪或断面仪：每 20m 一个断面
	中硬岩、软岩 (II、III、IV 级围岩)	平均 150，最大 250	

	硬岩 (I 级围岩)	平均 100, 最大 200	
边墙 (mm)	每侧	+100, -0	尺量: 每 20m 检查一处
	全宽	+200, -0	
仰拱、隧底 (mm)		平均 100, 最大 250	水准仪: 每 20m 检查 3 处

注: ① 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。

② 表列数值不包括测量贯通误差、施工误差。

③ 炮孔深度大于 3m 时, 允许超挖值可根据实际情况另行确定。

6.3.3 隧道开挖轮廓应按设计要求预留变形量, 预留变形量大小宜根据监控量测信息进行调整。

6.3.4 超挖必须回填密实。

6.4 钻爆

6.4.1 施工前应进行钻爆设计, 并根据实际爆破效果及时对爆破设计参数进行调整。

6.4.2 爆破器材必须具备相关的检验合格证、技术指标及说明书。

6.4.3 钻爆作业应按照钻爆设计进行。

6.4.4 炮眼的深度、角度、间距应按爆破设计要求确定, 并应符合下列精度规定:

1 掏槽眼眼口间距误差和眼底间距误差不得大于 50mm。

2 辅助眼眼口排距、行距误差不得大于 50mm。

3 周边眼沿隧道设计断面轮廓线上的间距误差不得大于 50mm, 周边眼外斜率不得大于 50mm/m, 眼底不超出开挖断面轮廓线 100mm, 最大不得超过 150mm。

4 内圈炮眼至周边眼的排距误差不得大于 50mm, 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。

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

6.4.6 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堵塞密封。周边眼的堵塞长度不宜小于 200mm。

6.4.7 采用电力起爆时, 除应执行现行《爆破安全规程》(GB6722) 的有关规定外, 还应符合下列规定:

1 装药前电灯及电线应撤离开挖面, 装药时应用投光灯、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 放炮前, 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, 应加强接头的防水与绝缘处理。

- 6.4.8 隧道爆破可能影响周围建（构）筑物安全时，应监测围岩爆破影响深度以及爆破震动对周围建（构）筑物的破坏程度。
- 6.4.9 爆破前，所有人员应撤至安全地点。爆破后必须待洞内有害气体浓度符合本规范第14章规定后方可进入开挖面工作。
- 6.4.10 爆破作业应在上一循环喷射混凝土终凝不少于4h后进行。

7 出渣与运输

7.1 一般规定

7.1.1 出渣运输方式应根据隧道长度、断面大小、开挖方法、机械设备配套能力、经济性 & 施工进度等因素综合考虑制定，保证作业安全。

出渣运输是隧道施工的基本作业之一，包括石渣的装、运、卸和从洞外运进各种材料、工具、设备，它在整个掘进循环中所占的时间比重约为 35% ~ 50%，出渣运输作业能力的强弱在很大程度上影响着隧道施工进度。因此，必须根据隧道断面的大小、开挖方法、设备状况以及最大进度要求等进行综合研究，才能制定出一个科学合理的出渣运输方案，并在施工过程中根据地质变化、开挖方法的改变而不断调整和改进，从而提高出渣的效率。运输方式分有轨运输和无轨运输。有轨运输受隧道纵坡的限制，而且弃渣场地也不宜距洞口过远。有轨运输具有设备造价低，维修容易，对空气污染小，经济等优点，而且，目前有轨运输已有性能好、生产能力高的配套设备，故有轨运输仍是一种可靠经济的运输方式。无轨运输能适用于弃渣场离洞口较远和道路坡度较大的场合，机动灵活，效率较高，洞内外临时设施简单，但要求洞内空间较大，需解决洞内自卸汽车调头的问题；车辆排出的废气需采用大型通风设施，对运输道路的要求较高，尤其是在渗水量大时要求则更高。

7.1.2 出渣运输设备的选型配套应保证机械设备充分发挥其功能，并应使出渣能力、运输能力与开挖能力相适应，应使装运能力大于最大的开挖能力。

设备的合理选型与配置是保证高效出渣的前提。装运设备是保证充分发挥开挖设备和支护设备能力的关键设备，必须保证装运能力大于开挖能力，正确选择和准备足够的装渣机械和运输车辆，并维修好线路，减少相互干扰，以求缩短装、运作业时间，这样才能避免因设备损坏、维修等原因引起的进度滞后。

7.1.3 运输线路或道路应设专人进行维修和养护，使其处于平整、畅通。线路或道路两侧的废渣和余料应随时清除。

无论有轨式还是无轨式运输，都应保证线路平整、畅通，并应做好排水工作，避免路基软化。应经常检查鱼尾板、道钉、螺栓等钢轨配件，使其满足线路铺设的技术标准。设专人负责对线路的维修和保养是保证运输通行能力和工程进度所不可缺少的。

7.1.4 出渣运输车辆必须处于完好状态，制动有效，严禁人料混载，不准超载、超宽、超高运输。运装大体积或超长料具时，应有专人指挥，专车运输，并设置显示界限的红灯。

7.1.5 进洞的各类施工机械与车辆，宜选用带净化装置的柴油机动力，有轨式出渣运输车辆宜选用电瓶车，汽油动力机械不宜进洞。

这两条为保证出渣与运输的安全、环保而制定的。运输车辆的性能必须良好才能保证

洞内运输线路的畅通。车辆的驾驶应有专门的管理规定，诸如车辆运行时鸣笛或按喇叭；注意了望；非专职人员严禁开车、调车或搭车，有轨运输时严禁在运行中摘挂斗车等等。为减少洞内空气污染，应严格控制汽油机进洞。

7.1.6 爆破器材运输应符合有关安全管理规定。

爆破器材的运输应符合现行《民用爆炸物品安全管理条例》（国务院令第466号）、《公路工程施工安全技术规程》（JTJ 076）及其他相关规定。

7.2 出渣运输

7.2.1 隧道施工时，应建立运输调度系统，并编制运输计划，统一指挥，确保车辆运输安全，提高运输效率。

隧道施工洞内许多工序都需要出渣与进料，若洞外、洞内运输工作组织管理不好，就必然会造成混乱现象，车辆积压、堵塞轨道等，无法完成出渣与进料，直接影响各工序的正常施工。隧道工程一般为控制工期的重点工程，要求进度快，且常设有辅助坑道，在分部开挖的隧道中，因工作面多，工序平行交叉作业，解决好安全出渣、进料，提高运输效率，就成为施工的重要环节。因此应编制运输计划，建立健全行之有效的运输调度和管理制度，加强安全运输，提高运输效率。

7.2.2 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。洞内宜铺设双道；在单道地段，应根据装渣作业时间和行车速度的大小合理布设错车道、调车设备，增加岔线和岔道等。

有轨运输的轨道布置合理与否，是决定有轨运输工作效率的主要因素。轨道布置，应保持运输通畅，尽量减少会车时间及编组调车时间，并保证列车运输和行人的安全。洞内运输由于要解决出渣与进料，原则上宜铺设双道以减少错车时间。设双车道或错车道是进行调车、加快出渣和有秩序组织运输的主要措施，应根据工期要求和断面大小，在施工组织设计中，对设置双车道或错车道的数量和位置做出规定。在部分开挖法中，当岩层稳定性差时，导坑内可铺设单道，但应每隔适当距离加宽开挖断面，增设错车道，错车道的有效长度应能满足最长列车运行要求。

7.2.3 有轨式运输线路铺设应符合下列规定：

1 同一线路必须使用同一型号钢轨，不宜小于38kg/m。钢轨配件、夹板、螺栓必须按标准配齐，且与轨型相符。

钢轨类型的选择与车辆的体积和隧道的长度（出渣量）有关，在使用小型车辆时，一般铺设24kg/m的轻型钢轨，但随着车辆的大型化，钢轨类型也应随着变化，以满足隧道实现快速施工运输的需要，24kg/m型适用于承载质量5t的机车轴重，超过5t则应加大，可按公式 $q=10+2.5p$ 检算， q 为轨型（kg/m）， p 为轴的质量（t）。目前隧道施工大多采用16t电瓶车牵引14m³及以上的矿车运输，已普遍不再使用24kg/m钢轨，而代之38kg/m或43kg/m钢轨。

究竟采用哪一种，主要取决于以下几个方面：能否满足载重要求；能否满足快速运输要求；38 kg/m钢轨是否较43kg/m钢轨的掉道率高。目前的电瓶车 and 梭式矿车的类型，即使轴重再有所增大，38kg/m钢轨仍能满足载重要求。在行车的速度方面，目前采用有轨运输的隧道，其行车速度大多18km/h左右，最高不超过25km/h。在这样的速度范围内，38kg/m钢轨显然也能满足要求。在掉道方面，是否掉道的关键在于对轨道的养护是否到位。通过配备专门人员负责轨道养护，可以很好地抑制掉道现象的发生。因此倾向于采用38kg/m钢轨，这不仅节省了钢材，而且减轻了铺轨的劳动强度，有利于提高工作效率。

2 道岔型号应与钢轨类型相配合，不得低于6号道岔，并安装转辙器。

轨道线路严禁铺设使用非标准道岔。所选用的标准道岔，要按标准铺设，一般选用6号以上为宜。机动车牵引宜选用较大型号的道岔，并安装转辙器。

3 轨枕的规格及数量应符合标准规定，间距不宜大于0.7m，间距偏差不得超过50mm，长度为轨距加0.6m。轨枕的上下面应平整。

轨枕的排列间距取决于钢轨的规格和轨道的工作条件。重型钢轨的轨枕标准应予提高。

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，使用有转向架的梭式矿车时，最小曲线半径应不小于车辆技术文件的要求，并应尽量使用较大的曲线半径。

平面曲线半径采用7倍轴距和10倍轴距的规定是与本章7.2.5条限制的行车速度相适应。若采用梭式斗车则半径不小于12m；采用槽式列车半径不小于25m。

5 道床道砟应采用不易风化的碎石，粒径应符合标准规定，不宜过大。道床厚度不应小于150mm。

道床 洞内石碴坚硬时，符合粒径要求的洞内石碴可直接作为道碴，洞内石质松软地段，应用河卵石或坚硬石碴换填，并做好排水工作，为保持线路稳定，道床厚度不应小于15cm，至少埋过轨枕高度的三分之二，但不超过轨枕面，确保压实，无浮枕。对道床应经常清理，应无杂物、无积水。

6 双道的线间距应保持两列车间净距大于0.2m，错车线处应大于0.4m。

7 车辆距坑道壁或支撑边缘的净距不应小于0.2m，单道一侧的人行道宽度不宜小于0.7m。

8 机动车牵引时纵坡不宜大于2.5%；皮带输送机输送时纵坡不宜大于25%。洞外卸渣线末端应设1%~3%的上坡段。

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；钢轨接头间隙、顶面的高低差，以及曲线段外轨按设计加高后与内轨顶面的高低偏差，不得大于5mm。钢轨配件应齐全牢固。

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

线路铺设 曲线段轨道加宽和外轨超高，应符合运输技术条件的要求。根据煤矿安全规程，曲线地段外轨的超高度可按下式计算。

$$h = 7.6v^2/R$$

式中：h—外轨的超高度，mm；

v —实际最高行车速度, km/h;

R —曲线半径, m。

第6~第10款均系为保证运输作业安全的规定。

7.2.4 有轨运输作业应符合下列规定:

- 1 机动车牵引不得超载。
- 2 车辆装载的高度,斗车不应超过顶面0.5m,宽度不应超过车宽。
- 3 列车连接必须良好,必须采用不能自行脱钩的连接装置。利用机车进行车辆的调车、编组和停留时,必须有可靠的制动装置,严禁溜放。
- 4 车辆在同方向行驶时,相邻两组列车间的距离不应小于100m。人推斗车的间距不应小于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10km/h;其他地段在采取有效的安全措施后,最大速度不宜超过20km/h。
- 6 轨道旁的料堆,距钢轨外缘不应小于0.8m,高度不应大于1.0m。
- 7 洞内在曲线区间、转辙器、人行横道处等要设慢行标志。车辆的限制速度、注意或危险等必须用交通标志及标灯明示出来。
- 8 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。严禁非专职人员开车。

本条主要是针对机动牵引运输而制定的安全规定。如采用新型运输机械时,应根据其技术性能制定相应的安全规定。

斟酌钢轨质量、轨距、坡度、曲线半径、车辆质量、制动距离等,规定出适合作业场的限制速度。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,运行速度不大于10km/h,可以保证安全。最大速度不超过20km/h是指直线地段,如在曲线地段上应根据半径大小适当减小速度。

7.2.5 无轨运输作业应符合下列规定:

- 1 洞内宜铺设简易路面,路面的平整度、强度等指标应能满足出渣车辆运行要求,,并做好排水及路面的维修工作。
- 2 从隧道的开挖面到弃渣场地,必须按需要设置会车场所、转向场所及行人的安全通路。
- 3 在洞口、平交道口、狭窄的施工场地,必须设置明显的警示标志,必要时应设专人指挥交通。
- 4 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;双车道净宽不得小于2倍车宽加2.5m;会车视距宜大于40m。
- 5 行车速度,在施工作业地段和错车时不应大于15km/h;成洞地段不宜大于20km/h。
- 6 车辆行驶中严禁超车,洞内倒车与转向应由专人指挥。
- 7 洞内应加强通风,洞内作业环境应符合职业健康标准。

出渣道路的标准，影响到安全行车、出渣效率和工程进度。而且，出渣设备一般容量大，吨位大，运输频繁，对路面应有较高的要求，路面结构必须牢固、平整、耐磨损、耐冲击。采用自卸汽车运输时，容易损坏隧道底部，因此宜铺设路面或先做好铺底混凝土。根据近年来的施工实践，仰拱先行有利于洞内运输，但应做好排水及路面维修。由于自卸汽车行驶灵活，刹车方便，因此行车速度可比有轨式运输速度高。在条件好的成洞地段，行驶速度可比施工地段适当提高。无轨运输机械产生的废气较多，空气污染严重，应加强通风。

7.3 装渣与卸渣

7.3.1 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。装渣机械应具有移动方便、污染小的特点。

装渣设备选择的合理与否直接影响隧道掘进速度的快慢，根据每次开挖的土石方及运输车辆的容量，合理配置装渣设备，使之与运输设备配套，提高装渣效率，缩短装运作业时间，从而达到提高隧道的掘进速度的目的。

7.3.2 装渣作业应符合下列规定：

1 装渣前及装渣过程中，应检查开挖面围岩的稳定情况。发现有松动岩石或塌方征兆时，必须先处理后装渣。

2 装渣作业应由专人指挥，要注意爆后残留在掌子面上和埋在爆渣之中的拒爆残药，发现拒爆残药，必须立即通知专业人员进行处理。

3 人工装渣时，应将车辆停稳并制动。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；接渣时，漏斗口下不得有人通过。

4 机械装渣时，装载机械应能在开挖断面安全运转，装渣机操作时其回转范围内不得有人通过；机械装渣作业应严格按照操作规程进行，并不得损坏已有的支护及设施。

5 采用有轨式装渣机械时，轨道应紧跟开挖面，调车设备应及时向前移动。

装渣作业应注意的五点是为保证装渣的安全及提高轨式装渣速度而制定的。

隧道在开挖爆破后，围岩受到不同程度的扰动，因此，在进行装渣作业前必须进行围岩稳定性检查，处理危石，排除拒爆残药，规范装渣，确保装渣作业安全。

利用漏斗装渣时，由于钻眼作业噪声大，因而要求在漏斗的上、下方设置联络信号。例如可在棚架上下用色灯进行联络。

采用有轨式装渣机械装渣时宜优先采用梭式斗车，集转载、运输、卸载为一体，可大大提高出渣效率。如立爪式装渣机等等，是近几年来发展的生产能力高、连续装渣设备，与大容量梭式矿车匹配，使装渣连续进行，可缩短出渣运输循环作业时间。

7.3.3 卸渣作业应符合下列规定：

1 应根据弃渣场地形条件、弃渣利用情况、车辆类型，妥善布置卸渣路线，卸渣应在规定的卸渣路线上依次进行，不得干扰任何施工作业或其他设施。

2 卸渣宜采用自动卸渣或机械卸渣设备和平渣设备。机械卸渣时应有专人指挥，及时平整；人工卸渣时，应将车辆停稳制动，严禁站在斗车内扒渣。

3 所有弃渣堆顶面及坡脚处，或与原地面衔接处均应按设计要求修筑永久排水设施和其他必要的防护工程。

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和标志，以及足够宽的卸车平台。

卸渣作业应注意的四点是为保证卸渣的安全环保及提高卸渣效率而制定的。

隧道弃渣场应结合当地自然环境、水土保持、人文景观、运输条件、弃渣利用等因素综合考虑，选择或规划弃渣场地应按国家土地利用的基本政策，合理占用土地，尽量占用荒地，少占或不占耕地，严格控制侵占良田。合理选取弃渣场位置，集中弃渣，不得随意堆渣。工程竣工后应恢复其良好的土地复耕及植被。地表的良好植被能有效防风固沙，使施工现场的景观与周围景观协调一致，从而尽可能地维持原有自然生态。为提高卸渣效率，洞外卸渣线应事先做好规划，逐步实施。为防止卸渣随意进行，条文要求一定要在布置的卸渣线上依次进行卸渣。

采用自动卸渣或机械卸渣设备不仅安全可靠，而且快速省力。渣堆应随时予以平整。自卸汽车运输卸渣时，卸渣场宜配备推土机。

为减少隐患，弃渣排水设计是不可忽视的，可根据隧道所在地区降水、地面径流及地形地质情况，设置排水管、纵横盲沟、截、排水沟等排水设施。

8 支护与衬砌

8.1 一般规定

8.1.1 隧道施工支护应配合开挖作业及时进行，确保施工安全。

及时支护是新奥法的关键所在，一定要加强理解，认真去做。道理很容易理解，围岩开挖后，如果不支护，围岩很快就就会松弛，然后破坏。因此，必须及时支护来限制围岩变形。但是，因为管理的问题、因为对新奥法原理理解不到位的问题，因为片面追求施工效率的问题，很多隧道施工时不及时支护，有的出了事故，有的没出事，吃掉了安全储备，增大了风险，而且因为一个工程这样做没出事，下次有了“经验”，更加不重视。

8.1.2 隧道衬砌不得侵入隧道建筑限界，不得减少衬砌厚度。

8.1.3 支护与衬砌材料的标准、规格及要求等应满足设计要求。

8.1.4 隧道支护与衬砌施工过程中应做好施工记录。

7.1.1 根据围岩条件、断面大小和施工条件等选择喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢架等单一或组合的支护形式。

7.1.2 当掌子面自稳能力差时，应选择超前支护、掌子面预加固、改变开挖工序等措施。

7.1.3 隧道支护与衬砌施工应根据现场监控量测结果，分析施工中各种信息，及时调整支护措施和支护参数、确定二次衬砌施工时间。I~IV级围岩的二次衬砌应在初期支护变形基本稳定（参考值：周边位移速率小于 0.2mm/d，拱顶下沉速率小于 0.15mm/d）后施工。

7.1.4 施工中应做好施工地质描述、超前地质预报，根据围岩条件的变化情况，因地制宜，提前采取相应措施，做到安全可靠、经济合理。

7.1.5 隧道衬砌不得侵入隧道建筑限界，开挖放样时可将设计的轮廓线扩大 50mm，不得减少衬砌厚度。

7.1.6 支护与衬砌材料规格及要求等应符合现行《公路隧道设计规范》(JTG D70)、《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086) 规定。

8.2 喷射混凝土

8.2.1 喷射混凝土施工不得采用干喷工艺。

7.2.1 喷射混凝土施工有湿喷和潮喷两种方式，宜采用湿喷工艺，湿喷混凝土的坍落度宜控制在 80~120mm。

干喷工艺污染严重、强度低，应该杜绝。实际上潮喷工艺与干喷很接近，而污染小得多，回弹小得多，喷混凝土强度也有很大提高，应该很容易接受，所以只要克服习惯，管理方严格要求，施工方提高认识，杜绝干喷不难做到。湿喷混凝土强度高，质量容易保证，应该提倡。

8.2.2 喷射混凝土配合比应通过试验确定并满足设计强度和喷射工艺的要求。

8.2.3 喷射混凝土作业应符合下列规定：

- 1 当喷射作业分层进行时，后一层喷射应在前一层混凝土终凝后进行。
- 2 混合料应随拌随喷。
- 3 喷射混凝土回弹物不得重新用作喷射混凝土材料。

随伴随喷是为了避免浪费。回弹物不得重新用作喷射混凝土材料则是为了保证质量。

7.2.2 喷射混凝土的材料应符合下列规定：

1 水泥：宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。特殊情况下可采用特种水泥，采用特种水泥时应进行现场试验，指标应满足设计要求。

2 集料：粗集料应采用坚硬耐久的碎石或卵石。喷射混凝土中的石子粒径不宜大于16mm；细集料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数宜大于2.5。集料级配宜采用连续级配。

3 外加剂：应对混凝土的强度及与围岩的粘结力基本无影响、对混凝土和钢材无腐蚀作用、易于保存、不污染环境、对人体无害。外加剂使用前必须进行相应性能试验。

4 速凝剂：应根据水泥品种、水灰比等，通过不同掺量的混凝土试验选择掺量。使用前应做速凝效果试验，要求初凝不应大于5min，终凝不应大于10min。

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

6 外掺料：外掺料剂量应通过试验确定，加外掺料后的喷射混凝土性能必须满足设计要求。

7.2.3 喷射混凝土施工应做好下列准备工作：

1 检查开挖断面净空尺寸，清除松动岩块，清洗岩壁面的粉尘，清理边脚处的岩屑、杂物等。

2 岩面有集中渗水出露应先引排、妥善处理。

3 设置控制喷射混凝土厚度的标志。

4 检查机具设备和风、水、电等管线路，并试运转，作业面具有良好的通风和照明条件。

找顶工作应由熟练的找顶工进行，危石要找下来，但嵌固的、喷混凝土后可确保稳定的石块不要硬挖下来，否则，容易造成周边围岩失去支撑。

7.2.4 喷射混凝土作业应符合下列规定：

- 1 喷射作业应分段、分片由下而上顺序进行，每次作业区段纵向长度不宜超过 6m。
- 2 一次喷射厚度应根据设计厚度和喷射部位确定，初喷厚度宜控制在 40~60mm。复喷一次喷射厚度拱顶不得大于 100mm、边墙不得大于 150mm。
- 3 岩面有较大凹洼时，应在初喷时找平。
- 4 前一层喷射混凝土终凝后 1h 以上且喷层表面已蒙上粉尘时，后一层喷射作业前应清洗干净受喷面。
- 5 喷射混凝土作业时喷嘴应垂直岩面。喷射混凝土必须直接喷在岩面上。喷枪头到喷射面距离宜为 0.6~1.2m，喷射机工作压力应控制在 0.1~0.15MPa。

8.2.4 喷射混凝土应适时进行养护，隧道内环境温度低于 5℃时不得洒水养护。

7.2.5 喷射混凝土终凝 2h 后，应喷水养护，养护时间不应少于 7d。

很多不注重喷混凝土的养护，实际上对强度影响很大。不满足混凝土养生条件的一定要养护。

8.2.5 冬季施工时，喷射作业区的气温不应低于 5℃。在结冰的岩面上不得进行喷射混凝土作业。混凝土强度未达到 6MPa 前不得受冻。

8.2.6 采用纤维喷射混凝土时，所用材料应满足设计要求。

8.2.7 纤维喷射混凝土施工应符合本章 8.2.2~8.2.6 的规定。

8.2.8 喷射混凝土作业安全与防护应符合下列规定：

- 1 应检查和处理支护作业区危石，施工机具应布置于安全地带。
- 2 施工用作业台架应牢固可靠，并应设置安全栏杆。
- 3 施工时，非作业人员不得进入喷射作业区，喷嘴前禁止站人。
- 4 作业区粉尘浓度必须符合本规范第 13 章的规定。作业人员应带防尘口罩，防护镜，防护帽等劳保用品。
- 5 喷射作业完成后，应及时清洗机具。

7.2.6 采用钢纤维喷射混凝土时，所用材料应满足设计要求，当设计无要求时，应符合下列规定：

- 1 钢纤维宜用普通碳素钢制成。
- 2 钢纤维截面直径应为 0.3~0.5mm。
- 3 钢纤维长度宜为 20~25mm。
- 4 钢纤维抗拉强度不得低于 380MPa。
- 5 钢纤维含量宜为干混合料质量的 1.5~4%。（总量比）。
- 6 钢纤维喷射混凝土石子粒径不宜大于 10mm。
- 7 喷射混凝土强度不应低于 C20。

8 钢纤维混凝土的搅拌应采用强制式搅拌机。水泥、集料、钢纤维先干拌，时间不得少于 1.5min，加水后湿拌时间不应少于 3min。

7.2.7 纤维喷射混凝土施工应符合 7.2.2~7.2.6 的规定。

8.3 锚杆

8.3.1 锚杆类型、规格、技术性能应满足设计要求。

7.3.1 应根据地质条件、锚固特性选择锚杆类型。锚杆杆体半成品、成品的类型、规格、性能应符合国家现行技术标准的规定和满足设计要求。

7.3.2 系统锚杆施工宜在初喷后及时进行。局部锚杆施工可在初喷前进行。

7.3.3 锚杆材料应满足设计要求并符合下列规定：

1 锚杆杆体宜选用 HRB335、HRB400 钢，杆体直径 20~28mm，杆体屈服抗拉力 $\geq 150\text{kN}$ 、强屈比 $f_u/f_y \geq 1.2$ 。

2 锚杆用的各种水泥砂浆强度不应低于 M20。

3 锚杆垫板材料宜采用 Q235 钢。

8.3.2 锚杆孔钻孔施工应符合下列规定：

1 钻孔机具应根据锚杆类型、规格及围岩情况选择。

2 孔位允许偏差为 $\pm 150\text{mm}$ ，钻孔数量应符合设计规定。

3 水泥砂浆锚杆钻孔直径应大于锚杆杆体直径 15mm。其他型式锚杆钻孔直径应满足设计要求。

4 钻孔深度不应小于锚杆杆体有效长度，但深度超长值不应大于 100mm。

7.3.4 锚杆孔钻孔施工应符合下列规定：

1 选择钻孔机具时应考虑以下因素：侧墙及拱腰部位锚杆孔可采用气腿式凿岩机钻孔，拱部锚杆孔应采用锚杆机或钻孔台车钻孔。当只有气腿式凿岩机钻孔时，作业台架必须设有钻拱顶锚杆孔的作业平台。

2 钻孔前应按设计要求，并结合岩层主要结构面、岩层层面定出位置，做出标记。

3 钻孔应保持直线，系统锚杆钻孔方向宜与开挖面垂直，当岩层层面或主要结构面明显时，尽可能与其成较大交角，但与开挖面的垂直偏差不应大于 20° ；局部锚杆应尽可能与岩层层面或主要结构面成大角度相交。

不应过分强调垂直于开挖轮廓线，而应与岩层主要结构面、岩层层面相结合。也不能偏差过大，要考虑锚固范围，如果方向偏差过大，锚固范围缩小太多也不适当。另外：如果有大的不稳定岩块，应考虑通过增设局部锚杆来解决。

8.3.3 锚杆安装前应做好下列检查工作，并做好原始记录：

- 1 锚杆材料型号、规格、品种是否符合设计要求，配件是否配套。
- 2 锚杆孔位、孔径、孔深及布置形式是否满足设计要求。
- 3 孔内是否积水、岩粉是否吹洗干净。
- 4 锚杆杆体是否调直、除锈、清除油污。
- 5 锚杆外端标准螺纹是否有效，逐根检查并与标准螺母试装配。

8.3.4 普通水泥砂浆锚杆施工应符合下列规定：

- 1 普通水泥砂浆锚杆材料、直径、插入孔内长度应满足设计要求。
- 2 砂浆应在初凝前使用，已初凝的砂浆不得使用。
- 3 砂浆灌浆后应及时插入锚杆杆体，锚杆杆体插到设计深度时，孔口应有砂浆流出，若孔口无砂浆流出，应将杆体拔出重新灌浆。全长粘接锚杆应灌浆饱满。
- 4 垫板、螺母应在砂浆初凝后安装。垫板与喷射混凝土应紧密接触。

7.3.5 普通水泥砂浆锚杆施工应符合下列规定：

- 1 宜采用螺纹钢筋作锚杆，杆体直径应满足设计要求。
- 2 砂浆配合比（质量比），水泥：砂：水宜为 1：（1~1.5）：（0.45~0.5）。
- 3 锚杆外露端应加工 120~150mm 的标准螺纹，并采用配套标准螺母。
- 4 灌浆管应插至距孔底 50~100mm 处，并随水泥砂浆的注入缓慢匀速拔出，灌浆压力不宜大于 0.4MPa。

- 5 锚杆杆体插入孔内长度应满足设计要求。

锚杆施工的关键点一是灌浆饱满，二是要安装垫板。这两点在施工中要充分重视。

8.3.5 中空注浆锚杆施工时应保持中空通畅，并留有专门排气孔。螺母应在砂浆初凝后拧紧。

7.3.6 中空注浆锚杆施工时应满足下列要求：

- 1 中空注浆锚杆应有锚头、垫板、螺母、止浆塞等配件。
- 2 砂浆配合比（质量比），水泥：砂：水宜为 1：1：0.45。
- 3 应保证中空通畅，并留有专门排气孔。
- 4 注浆过程中，注浆压力应保持在 0.3MPa 左右，待排气口出浆后，方可停止灌浆。
- 5 拧紧螺母，使垫板与喷射混凝土紧密接触。

8.3.6 水泥砂浆药包锚杆施工时应满足下列要求：

- 1 应对药包做泡水检验。
- 2 药包不应有受潮结块现象。
- 3 药包应以专用工具推入钻孔内，防止中途破裂。
- 4 锚杆插到设计深度时，孔口应有砂浆流出。
- 5 应使垫板与喷射混凝土紧密接触。

药包锚杆强度增长很快，有利于保证拱部锚杆的灌浆饱满，但要保证用量，不要减少

药包用量。

7.3.7 水泥砂浆药包锚杆施工时应满足下列要求：

- 1 药包包装纸应采用易碎纸。
- 2 砂浆的初凝不得小于 3min，终凝不得大于 30min。
- 3 药包宜在清水中浸泡，随用随泡。
- 4 锚杆采用手送插入并转动锚杆，也可锤击安装，但不得损伤锚头螺纹。

7.3.8 在有水地段安装锚杆时，应遵循下列原则：

- 1 采用普通砂浆锚杆应将孔内水引出或在附近另行钻孔后，再安装锚杆。
- 2 宜采用早强速凝药包式锚杆或树脂锚杆等。

7.3.9 锚杆垫板应与喷射混凝土层紧密接触，锚杆砂浆凝固前不得加力，垫板与喷层不完全平贴时，应用水泥砂浆填实。

7.3.10 楔缝式端头锚固型锚杆施工应满足下列要求：

- 1 楔缝式锚杆安装前，应检查杆体与部件（楔块、托板）、查杆体长度，楔缝、楔块、螺母与螺栓的尺寸和配合情况。
- 2 钻孔直径应大于杆体直径 15mm~18mm。
- 3 锚杆与楔块应同时送入孔内，楔块不得偏斜或脱落，楔块到达孔底时，用锤敲击锚杆端头，使锚头楔紧，上好托板，拧紧螺帽。
- 4 楔缝锚杆一昼夜后应再次紧固。并应定期检查，如发现有松弛情况，应再行紧固。
- 5 楔缝式锚杆应在硬岩中使用，只能作为临时支护，如作为永久支护应补注水泥浆或树脂。

8.3.7 全长粘结式锚杆安设后不得敲击，其端部三天内不得悬挂重物。

7.3.11 自钻式锚杆的注浆施工要求同 7.3.6 条。

有些地质条件下锚杆成孔困难，自钻式锚杆是解决问题的一个途径。

8.4 钢筋网

8.4.1 钢筋网材料应满足设计要求，钢筋网钢筋使用前应调直、清除锈蚀和油渍。

8.4.2 钢筋网安装应符合下列规定：

- 1 应在初喷一层混凝土后再进行钢筋网铺设。
- 2 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一次钢筋网被喷射混凝土全部覆盖后进行铺挂。
- 3 钢筋搭接长度不得小于 30d（d 为钢筋直径），并不得小于一个网格长边尺寸。
- 4 钢筋网应与锚杆或其他固定装置连接牢固。

8.5 钢架

8.5.1 钢架必须具有足够的强度和刚度，采用的钢架类型应满足设计要求。

8.5.2 钢架材料应满足设计要求。

8.5.3 钢架加工应符合下列规定：

1 钢架加工尺寸应符合设计要求，其形状应与开挖断面相适应。

2 不同规格的首榀钢架加工完成后应放在平整地面上试拼，周边拼装允许偏差为 $\pm 30\text{mm}$ ，平面翘曲应小于 20mm 。当各部尺寸满足设计要求时，方可进行批量生产。

8.5.4 钢架安装应满足下列要求：

1 钢架拱脚必须放在牢固的基础上。应清除底脚下的虚渣及其他杂物，脚底超挖部分应用喷射混凝土填充。

2 钢架应分节段安装，节段与节段之间应按设计要求连接。连接钢板平面应与钢架轴线垂直，两块连接钢板间采用螺栓和焊接连接，螺栓不应少于 4 颗。

3 相邻两榀钢架之间必须用纵向钢筋联接，连接钢筋直径不应小于 18mm ，连接钢筋间距不应大于 1.0m 。

4 钢架应垂直于隧道中线，竖向不倾斜、平面不错位、扭曲。上、下、左、右允许偏差 $\pm 50\text{mm}$ ，钢架倾斜度应小于 2° 。

8.5.5 钢架安装就位后，钢架与围岩之间的间隙应用喷射混凝土充填密实。喷射混凝土应由两侧拱脚向上对称喷射，并将钢架覆盖，临空一侧的喷射混凝土保护层厚度应不小于 20mm 。

7.4.1 当设计对钢架材料无规定时按下列要求选择：

1 钢架可选用 H 型钢、工字钢、U 型钢、钢轨、钢筋等制作。

2 制作格栅钢架的钢筋应采用 HRB335、HRB400 钢，主筋直径宜为 $18\text{mm}\sim 32\text{mm}$ ；辅筋宜采用 HPB235、HRB335 钢，辅筋直径宜为 $10\text{mm}\sim 16\text{mm}$ 。

3 钢架连接钢板宜采用 HRB335、HRB400 钢。

7.4.2 钢架加工应符合下列规定：

1 钢架应分节段制作，每节段长度应根据设计尺寸及开挖方法确定，不宜大于 4m ，每片节段应编号，注明安装位置。

2 型钢钢架宜采用冷弯法制作成型。

3 格栅钢架应利用胎模控制尺寸，所有钢筋结点必须采用焊接，焊接长度应大于 40mm ，对称焊。

7.4.3 钢架安装应满足下列要求：

- 1 钢架宜在初喷后安装。
- 2 安装钢架前，应检查开挖断面轮廓、中线及高程。
- 3 钢架安装时应尽可能贴近围岩或初喷面，有间隙时应用楔块楔紧。

7.4.4 钢架安装就位后，钢架与围岩之间的间隙应用喷射混凝土充填密实，并使钢架与喷射混凝土形成整体。喷射混凝土应由两侧拱脚向上对称喷射，并将钢架覆盖，临空一侧的喷射混凝土保护层厚度应不小于 20mm。

钢拱架背后喷射混凝土不密实时，钢架与岩体是点接触，对岩体仅能起局部支撑作用，而且在受力时会因局部应力集中而发生扭曲。钢架在与喷射混凝土结合好时才能更好地发挥作用。想单纯依靠钢拱架做支护并不是个好主意。不乏架设钢架后不及时喷混凝土而发生拱架扭曲、垮坍的实例。钢架施工的关键在于：定位准确、垂直岩棉、及时施工喷射混凝土、钢架后面用喷射混凝土喷射密实。

使用型钢拱架时，喷射混凝土困难（钢拱架与围岩之间难以喷实，喷射混凝土打在钢拱架上回弹大），相比之下格栅拱架就好的多。

格栅拱架的优点是它与喷射混凝土结合得好，变形与喷射混凝土协调一致。格栅钢架与喷射混凝土结合成的钢筋混凝土结构具有很大的刚度。可以适应先柔后刚的支护形式，也可以与一次喷射足够厚度的混凝土结合形成刚度大的初期支护。

8.6 衬砌钢筋

8.6.1 钢筋加工应符合下列规定：

- 1 钢筋在加工弯制前应调直。
- 2 钢筋表面的油渍、铁锈等应清除干净。
- 3 钢筋拉直、弯钩、弯折、弯曲应采用冷加工。

8.6.2 钢筋安装应符合下列规定：

- 1 横向筋与纵向筋每个节点必须进行绑扎或焊接。
- 2 钢筋焊接搭接长度及焊缝应满足设计要求。
- 3 相邻主筋搭接位置应错开，错开距离应不小于 1000mm。
- 4 同一受力钢筋的两个搭接距离应不小于 1500mm。
- 5 箍筋连接点应在纵横向筋的交叉连接处，必须进行绑扎或焊接，。
- 6 钢筋的其他连接方式应符合相关规范的规定。

8.6.3 安装钢筋时，钢筋长度、间距、位置、保护层厚度应满足设计要求。

7.5.1 钢筋加工后表面不应有削弱钢筋截面的伤痕。当利用冷拉方法矫直钢筋时，钢筋的

矫直伸长率：HPB 级钢筋不得超过 2%，HRB 级钢筋不得超过 1%。

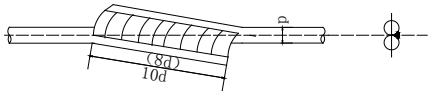
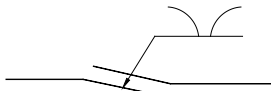
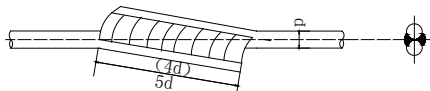
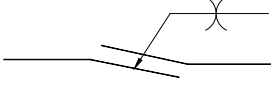
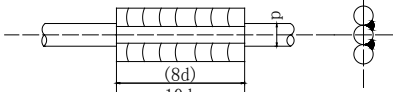
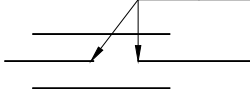
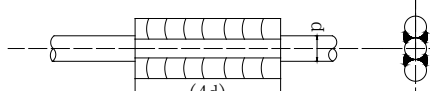
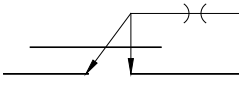
7.5.2 衬砌钢筋连接应符合下列要求：

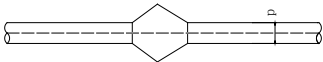
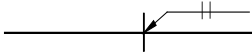
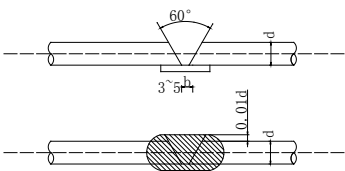
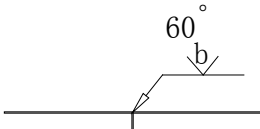
- 1 横向筋与纵向筋每个节点必须进行绑扎或焊接。
- 2 受力主筋的搭接应采用焊接，焊接搭接长度及焊缝应满足设计要求，见表 7.5.2。
- 3 相邻主筋搭接位置应错开，错开距离应不小于 1000mm。
- 4 同一受力钢筋的两个搭接距离应不小于 1500mm。
- 5 箍筋连接点应在纵横向筋的交叉连接处，必须进行绑扎或焊接，以保证两层主筋之间的间距。

6 受力主筋的机械连接可参照现行《钢筋机械连接通用技术规程》（JGJ107）的规定执行。

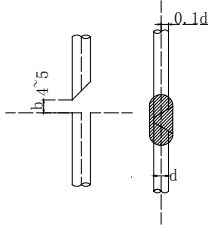
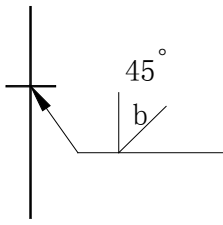
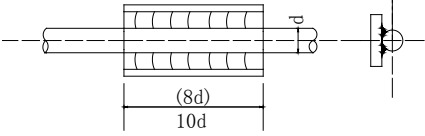
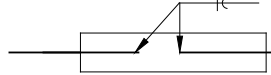
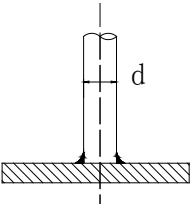
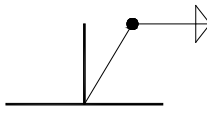
7、受力主筋套筒挤压连接可参照现行《带肋钢筋套筒挤压连接技术规程》（JGJ108）的规定执行。

表 7.5.2 焊接接头

序号	名称	接头型式	标注方法	适用范围	
				钢筋级别	直径 (mm)
1	单面焊接的钢筋接头			HPB235 HRB335 HRB400	10~20 10~40 10~40
2	双面焊接的钢筋接头			HPB235 HRB335 HRB400	10~20 10~40 10~40
3	用帮条单面焊接的钢筋接头			HPB235 HRB335 HRB400	10~20 10~40 10~40
4	用帮条双面焊接的钢筋接头			HPB235 HRB335 HRB400	10~20 10~40 10~40

5	接触 对焊 (闪光焊) 的钢筋接头			HPB235 HRB335 HRB400	8~20 6~40 6~40
6	坡口 平焊 的钢筋接头			HPB235 HRB335 HRB400	18~20 18~40 18~40

续上表

序号	名称	接头型式	标注方法	适用范围	
				钢筋级别	直径 (mm)
7	坡口立焊的钢筋接头			HPB235 HRB335 HRB400	18~20 18~40 18~40
8	用角钢或扁钢做连接板焊接的钢筋接头			HPB235 HRB335 HRB400	8~20 8~40 8~25
9	钢筋与钢板接触对焊接头			HPB235 HRB335 HRB400	8~20 6~25 6~25

注：①无法进行表中序号 2、4 的电弧焊时，才允许采用表中序号 1、3 的电弧焊型式。

②采用帮条焊时，帮条截面面积应为受力钢筋截面面积的 1.2 倍（HPB235 钢筋）或 1.5 倍（HRB335、HRB400 钢筋）。

③钢筋与钢板的焊接宜优先采用接触对焊。

④不同钢号的钢筋进行焊接时，其强度应为其中最小的钢筋强度，焊条可选用一般常用的焊条。一般重要结构最好不采用此种焊接接头。

⑤表中序号 1、2、3、4 电弧焊时的焊缝长度不应小于帮条或搭接长度，焊缝高度 h 及焊缝宽度 b 应符合图 7.5.2 规定。

⑥ d 为圆钢筋的直径或螺纹钢筋的计算直径。

⑦表中括号中数值仅用于 HPB235 钢筋。

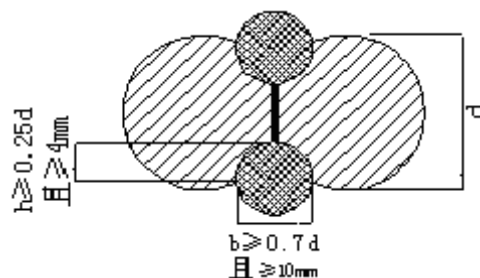


图 7.5.2 焊缝要求

7.5.3 受力主筋与模板之间应设混凝土垫块。

8.7 模筑混凝土衬砌

8.7.1 衬砌模板施工应符合下列规定：

- 1 混凝土衬砌模板及支架必须具有足够的强度、刚度和稳定性。
- 2 应按设计要求设置沉降缝。衬砌施工缝应与设计的沉降缝、伸缩缝结合布置。
- 3 安装模板时应检查中线、高程、断面和净空尺寸。
- 4 模板安装前，应仔细检查防水板、排水盲管、衬砌钢筋、预埋件等隐蔽工程，做好记录。

8.7.2 水泥应符合现行《通用硅酸盐水泥》(GB 175)规定。应检验水泥的安定性和强度，检验方法应符合现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)规定。水泥存放时间超过三个月(快硬硅酸盐水泥为一个月)，应重新取样检验。

8.7.3 混凝土用砂应采用级配良好、质地坚硬、颗粒洁净的河砂，河砂不易得到时，也可用山砂或硬质岩石加工的机制砂。砂的检验方法应符合现行《公路工程集料试验规程》(JTG E42)规定。

8.7.4 钢筋混凝土严禁采用海砂。素混凝土不得不采用海砂时，砂中氯化物(以氯离子质量计，%)应小于0.02%，并应符合本章8.7.9条的规定。

8.7.5 混凝土用粗集料应采用坚硬的卵石或碎石，其检验方法应符合现行《公路工程集料试验规程》(JTG E42)规定。

8.7.6 拌制混凝土宜采用饮用水；当采用其他水源时，混凝土拌制用水应符合表8.7.6规定。

表 8.7.6 混凝土拌制用水标准

项 目	钢筋混凝土	素混凝土
pH 值	≥ 4.5	≥ 4.5
不溶物(mg / L)	≤ 2000	≤ 5000
可溶物(mg / L)	≤ 5000	≤ 10000
Cl ⁻ (mg / L)	≤ 1000	≤ 3500
SO ₄ ²⁻ (mg / L)	≤ 2000	≤ 2700
碱含量(rag / L)	≤ 1500	≤ 1500

注：碱含量按 Na₂O+0.658K₂O 计算值来表示。采用非碱活性集料时，可不检验碱含量。

8.7.7 混凝土中掺用外加剂的质量及应用技术应符合现行《混凝土外加剂》(GB 8076)、《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)和有关环境保护的规定。

8.7.8 混凝土掺加粉煤灰时，应符合现行《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB 1596)和《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146)规定。

8.7.9 严禁使用含氯化物的水泥，混凝土中氯化物总含量应符合下列规定：

- 1) 对于素混凝土，不得超过水泥含量的 2%。
- 2) 对于钢筋混凝土，不得超过水泥重量的 0.3%；环境潮湿并且含有氯离子时，不得超过水泥重量的 0.1%。

8.7.10 混凝土中总碱含量不得大于 3kg/m^3 ，并应满足设计要求。

8.7.11 混凝土施工应满足下列要求：

- 1 混凝土的配合比应满足设计和施工工艺要求。
- 2 混凝土应在初凝前完成灌筑。
- 3 混凝土衬砌应连续灌筑。如因故间断，其间断时间应小于前层混凝土的初凝时间或能重塑时间。当超过允许间断时间时，应按施工缝处理。
- 4 混凝土的入模温度，冬季施工时不应低于 5°C ，夏季施工时不应高于 32°C 。
隧道模筑混凝土衬砌一次浇注的混凝土方量很大，水化热较大，应加强对温度的控制。
- 5 应采取可靠措施确保混凝土在浇灌时不发生离析。
- 6 浇筑混凝土时，应采用振动器振实，并应采取确实可靠措施，确保混凝土密实。振实时，不得使模板、钢筋和预埋件移位。
- 7 边墙基底标高、基坑断面尺寸、排水盲管、预埋件安设位置等应满足设计要求。
- 8 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合物。
- 9 拱墙衬砌混凝土浇筑时，应由下向上从两侧向拱顶对称浇筑。
- 10 拱部混凝土衬砌浇筑时，应在拱顶预留注浆孔，注浆孔间距应不大于 3m，且每模板台车范围内的预留孔应不少于 4 个。
- 11 拱顶注浆充填，宜在衬砌混凝土强度达到 100%后进行，注入砂浆的强度等级应满足设计要求，注浆压力应控制在 0.1MPa 以内。

8.7.12 拆除拱架、墙架和模板，应满足下列要求：

- 1 不承受外荷载的拱、墙混凝土强度应达到 5.0MPa。
- 2 承受围岩压力的拱、墙以及封顶和封口的混凝土强度应满足设计要求。

8.7.13 衬砌拆模后应立即养护。寒冷地区，应作好衬砌的防寒保温工作。

8.7.14 衬砌采用防水混凝土时，除应满足本章要求外，尚应符合本规范第 11 章的规定。

7.6.1 在围岩对衬砌有不良影响的硬软岩分界处，应设置沉降缝；明洞衬砌与洞内衬砌交界处或不设明洞的洞口段衬砌在距洞口 5m~12m 的位置应设沉降缝；在连续 V、VI 级围岩中每 30m~80m 应设沉降缝一道。在严寒地区，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。

7.6.2 衬砌模板施工应符合下列规定：

- 1 混凝土衬砌模板及支架必须具有足够的强度、刚度和稳定性，模板不凹凸、支架不偏移、不扭曲。保证混凝土成型规整，满足多次重复使用，不变形。
- 3 浇筑模筑混凝土前应将模板内的杂物、积水和钢筋上的油污清理干净；钢模板应涂脱模剂、木模板应用水湿润；模板接缝不应漏浆。
- 2 在涂刷模板隔离剂时，不应污染钢筋。
- 4 挡头板应按衬砌断面制作，定位准确、安装牢固，挡头板与岩壁间隙应嵌堵紧密。施工缝挡头板应设预留槽成型条，并满足止水产品要求。

7.6.3 主洞模板应满足下列要求：

- 1 隧道主洞模筑混凝土衬砌施工宜采用全断面衬砌模板台车。
- 2 全断面衬砌模板台车支架应有足够的强度和稳定性，便于整体移动、准确就位。
- 3 衬砌模板应表面光滑、接缝严密，有足够的刚度。
- 4 全断面衬砌模板台车模板应留振捣窗，振捣窗间距纵向不宜大于 3m、横向不宜大于 2.5m，振捣窗不宜小于 0.45m×0.45m，振捣窗周边应加强，防止周边变形，窗门应平整、严密、不漏浆。
- 5 全断面衬砌模板台车就位应以隧道中线为准，按线路方向垂直架设。
- 6 顶模设置通气孔、注浆管。

7.6.4 特殊洞室模板应满足下列要求：

- 1 对车行横洞、人行横洞、紧急停车带等特殊洞室，宜采用移动式模架和拼装模板施工。
- 2 采用拼装模板施工时，应采用先墙后拱或全断面浇筑，不得采用先拱后墙浇筑。
- 3 采用拼装模板施工时，拱、墙模板拱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。
- 4 架设拱、墙支架和模板安装时，应位置准确，连接牢固，严防移位。围岩压力较大时，拱架、墙架应增设支撑或缩小间距。
- 5 移动式模架或拼装模板重复使用时应注意检查，如有变形应及时修整。
- 6 在拱架外缘应采用沿径向支撑与围岩顶紧，以防混凝土浇筑时拱架变形、移位。
- 7 拱架、支架应与隧道中线垂直方向架设。拱架的螺栓、拉杆、斜撑等应安装齐全。拱架（包括模板）标高应预留沉落量。施工中应随时测量、调整。

7.6.5 混凝土用砂应符合下列规定：

- 1 砂的级配范围应符合表 7.6.5-1 中某一个级配区所规定的范围。

表 7.6.5-1 砂的级配范围

累计筛余 (%)	级配区	1 区	2 区	3 区
标准方孔 筛尺寸				

9.50 mm	0	0	0
4.75 mm	10~0	10~0	10~0
2.36 mm	35~5	25~0	15~0
1.18 mm	65~35	50~10	25~0
0.60 mm	85~71	70~41	40~16
0.30 mm	95~80	92~70	85~55
0.15 mm	100~90	100~90	100~90

注：① 表中除 4.75mm 和 0.6mm 筛档外，其余各筛档累计筛余可以略超出分界线，但超出总量应小于 5%。

② 人工砂的 0.15mm 筛档累计筛余，1 区可放宽到 100~85，2 区可放宽到 100~80，3 区可放宽到 100~75。

2 砂中不得混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣等杂物。其有害物质含量应符合表 7.6.5-2 的规定。

表 7.6.5-2 砂中有害物质含量标准

项 目	规定值
含泥量(按质量计，%)	<3
其中泥块含量(按质量计，%)	<1.0
云母含量(按质量计，%)	<2
轻物质含量(按质量计，%)	<1
硫化物及硫酸盐(按 SO ₃ 质量计，%)	<0.5
氯化物（以氯离子质量计，%）	<0.02
有机质含量(用比色法试验)	合格

注：砂中如含有颗粒状的硫酸盐或硫化物，应进行混凝土耐久性试验，满足设计要求时方能使用。

3 天然砂采用硫酸钠溶液法进行坚固性试验时，砂样 5 次循环后的总质量损失应小于 8%。人工砂采用压碎指标法进行坚固性试验时，单级最大压碎指标应小于 25%。

7.6.6 混凝土用粗集料应符合下列规定：

1 卵石和碎石的级配范围应符合表 7.6.6-1 规定。粗集料最大粒径不应超过结构最小边尺寸的 $1/4$ ，且不应超过钢筋最小净距的 $3/4$ ；在两层或多层密布钢筋结构中，不应超过钢筋最小净距的 $1/2$ ，并且不应超过 90mm。用混凝土泵输送混凝土时的粗集料最大粒径，除应符合上述规定外，对碎石不宜超过输送管径的 $1/3$ ；对于卵石不宜超过输送管径的 $1/2.5$ ，同时应符合混凝土泵制造厂的规定。

表 7.6.6-1 卵石和碎石级配范围

累计筛余 (%) 方孔筛 粒级 (mm)		2.36 mm	4.75 mm	9.50 mm	16.0 mm	19.0 mm	26.5 mm	31.5 mm	37.5 mm	53.0 mm	63.0 mm	75.0 mm	90.0 mm
连续 粒级	4.75~9.5	95~100	80~100	0~15	0								
	4.75~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0							
	4.75~19.0	95~100	90~100	40~80	——	0~10	0						
	4.75~26.5	95~100	90~100	——	30~70	——	0~5	0					
	4.75~31.5	95~100	90~100	70~90	——	15~45	——	0~5	0				
	4.75~37.5	——	95~100	70~90	——	30~65	——	——	0~5	0			
单 粒 粒 级	9.50~19.0		95~100	85~100		0~15	0						
	16.0~31.5		95~100		85~100			0~10	0				
	19.0~37.5			95~100		80~100			0~10	0			
	31.5~63.0				95~100			75~100	45~75		0~10	0	
	37.5~75.0					95~100			70~100		30~60	0~10	0

2 粗集料中不得混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣等杂物。其有害物质含量应符合表 7.6.6-2 的规定。

表 7.6.6-2 卵石和碎石中有害物质含量标准

项 目	规定值
含泥量(按质量计, %)	<1
其中泥块含量(按质量计, %)	<0.5
硫化物及硫酸盐(按 SO_3 质量计, %)	<1.0
氯化物(以氯离子质量计, %)	<0.02
有机质含量(用比色法试验)	合格

3 卵石或碎石采用硫酸钠溶液法进行坚固性试验时, 样品 5 次循环后的总质量损失应小于 8%。

4 卵石或碎石含针片状颗粒含量, 按质量计应小于 8%。

5 卵石单级最大压碎指标应小于 16%, 碎石单级最大压碎指标应小于 20%。

6 施工前应对所用的碎石或卵石进行碱活性检验。

7.6.7 混凝土施工应满足下列要求:

1 浇筑混凝土节段长度应根据围岩状况、衬砌厚度、施工部位、机具设备能力等确定。

2 混凝土拌制前, 应测定砂、石含水率并根据测试结果调整材料用量, 提出施工配合比。

3 冬季施工的防水混凝土, 应掺用加气剂降低原有的水胶比, 并按冬季施工有关要求施工。

4 调制混凝土拌合物时, 水泥重量偏差不得超过 $\pm 1\%$, 集料重量偏差不得超过 $\pm 2\%$, 水及外加剂重量偏差不得超过 $\pm 1\%$ 。

5 混凝土应采用混凝土搅拌运输车, 应确保混凝土在运送中不产生离析、散落及混入杂物。

6 混凝土浇筑应采用混凝土输送泵输送入模。

7 采用拼装模板施工时, 边墙基础宜结合边墙一次施工完成。

8 边墙基础与边墙分次浇筑时, 边墙基础顶面应凿毛、清洗。

7.6.8 采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥拌制的混凝土养护时间不得少于 7d, 有抗渗要求的混凝土养护时间不得少于 14d。

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

7.6.10 二次模筑混凝土衬砌的施工, 应根据监控量测结果, 在围岩和初期支护变形基本

稳定后进行。当围岩变形较大，流变特性明显时，应加强初期支护或采用其他辅助工程措施。

7.6.11 对已完成衬砌地段，应继续观察衬砌的稳定状态，注意变形、开裂、侵入净空等现象，及时记录。

8.8 仰拱和底板

8.8.1 仰拱混凝土施工应符合下列规定：

- 1 仰拱混凝土应超前拱墙混凝土施工。
- 2 仰拱混凝土浇筑前应清除积水、杂物、虚渣等。
- 3 仰拱混凝土浇筑必须使用模板，混凝土应振捣密实。
- 4 仰拱施工缝和变形缝处应按设计要求进行防水处理。
- 5 仰拱施工前，超挖在允许范围内应采用与衬砌相同强度等级混凝土浇筑；超挖大于规定时，应按设计要求回填，不得用洞渣随意回填，严禁片石侵入仰拱断面。

8.8.2 底板施工前应清除虚渣、杂物和积水。底板坡面应平顺。

8.8.3 仰拱填充采用片石混凝土时，片石应距模板 50mm 以上，片石间距应大于粗集料的最大粒径，并应分层摆放，捣固密实。

7.7.1 仰拱混凝土超前拱墙混凝土施工的超前距离宜保持 3 倍以上衬砌循环作业长度。仰拱施工宜整断面一次成型，不宜左右半幅分次浇筑。

7.7.2 底板混凝土可半幅浇筑，但接缝应平顺，做好防水处理。

7.7.3 仰拱填充应符合下列规定：

1 隧道底部（包括仰拱），超挖在允许范围内应采用与衬砌相同强度等级混凝土浇筑；超挖大于规定时，应按设计要求回填，不得用洞渣随意回填，严禁片石侵入衬砌断面（或仰拱断面）。

2 仰拱以上的混凝土或片石混凝土应在仰拱混凝土达到设计强度的 70% 后施工。

7.7.4 仰拱和底板混凝土强度达到设计强度 100% 后方可允许车辆通行。

虽然软弱围岩一般设计有仰拱初期支护，但是仰拱模筑混凝土还是要尽量接近掌子面，以尽早 1、封闭成环保证施工阶段隧道结构的稳定（仰拱在整个隧道结构中的作用非常重要）；2、提供较好的运输条件。

8.9 质量检验及标准

8.9.1 喷射混凝土施工质量应符合表 8.9.1 规定。

表 8.9.1 喷射混凝土支护质量标准

序次	检查项目	规定值或允许偏差 (mm)	检查方法和频率
1	喷射混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	按附录 C 检验
2	喷射厚度	平均厚度 \geq 设计厚度; 检查点的 60% \geq 设计厚度; 最小厚度 ≥ 0.5 设计厚度, 且 ≥ 50	凿空法或雷达探测仪: 每 10m 检查一个断面, 每个断面从拱顶中线起每 3m 检查 1 点
3	空洞检测	无空洞、无杂物。	同上

8.9.2 锚杆施工质量应符合表 8.9.2 规定。

表 8.9.2 锚杆支护质量标准

序次	检查项目	允许偏差	检查方法和频率
1	锚杆数量 (根)	不少于设计	现场逐根清点
2	锚拔力 (KN)	拔力平均值 \geq 设计值, 最小拔力 $\geq 90\%$ 设计值	按锚杆数 1%且不少于 3 根 做拔力试验
3	孔位 (mm)	± 50	尺量
4	钻孔深度 (mm)	± 50	尺量
5	钻孔直径 (mm)	满足设计要求	尺量
6	锚杆长度 (mm)	满足设计要求	物探法, 按锚杆数的 3%, 或不少于 3 根

8.9.3 钢筋网支护施工质量应符合表 8.9.3 规定。

表 8.9.3 钢筋网支护质量标准

序次	检查项目	允许偏差 (mm)	检查方法和频率
1	网格尺寸	± 10	尺量
2	钢筋保护层厚度	满足设计要求	凿孔检查, 每 10m 检查 5 点
3	与受锚岩面的间隙	≤ 30	尺量, 每 10m 检查 10 点
4	网的长、宽	± 10	尺量

8.9.4 钢架支护施工质量应符合表 8.9.4 规定。

表 8.9.4 钢架支护质量标准

序次	检查项目	允许偏差 (mm)	检查方法和频率
1	安装间距	50	尺量, 每榀检查
2	净保护层厚度	满足设计要求	凿孔检查, 每榀自拱顶每 3m 检查 1 点
3	倾斜度 ($^{\circ}$)	± 2	仪器测量, 每榀检查

4	安装偏差	横向	±50	尺量, 每幅检查
		竖向	不低于设计标高	
5	拼装偏差		±3	尺量, 每幅检查

8.9.5 模板施工应符合表 8.9.5 规定。

表 8.9.5 模板安装质量标准

序次	检查项目	允许偏差 (mm)	检查方法和频率
1	平面位置及高程	±15	尺量, 全部
2	起拱线高程	±10	水准仪测量, 全部
3	拱顶高程	+10, 0	水准仪测量, 全部
4	模板平整度	5	2m 靠尺和塞尺, 每 3m 测 5 点
5	相邻浇筑段表面错台	±10	尺量, 全部

8.9.6 混凝土衬砌施工质量应符合表 8.9.6 规定。

表 8.9.6 混凝土衬砌质量标准

序次	检查项目	允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	试件强度试验报告
2	边墙平面位置	±10	尺量, 全部
3	拱部高程	+30, 0	水准仪测量 (按桩号)
4	衬砌厚度	不小于设计值	激光断面仪或地质雷达随机检查
5	边墙、拱部表面平整度	15	2m 直尺、塞尺, 每侧检查 5 处, 或断面仪测量

8.9.7 仰拱及底板施工质量应符合表 8.9.7 规定。

表 8.9.7 仰拱及底板质量标准

序次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	试件强度试验报告
2	仰拱 (底板) 厚度 (mm)	不小于设计	水准仪: 每 10m 检查一个断面, 每个断面检查 5 点
3	钢筋保护层厚度 (mm)	≥50	凿孔检查, 每 10m 检查一个断面, 每个断面检查 3 点
4	顶面高程 (mm)	±15	水准仪: 每一浇筑段检查一个断面

8.9.8 衬砌钢筋施工质量应符合表 8.9.8 规定。

表 8.9.8 衬砌钢筋质量标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	主筋间距 (mm)	±10	尺量连续 3 处以上
2	两层钢筋间距 (mm)	±5	尺量两端、中间各 1 处以上

3	箍筋间距（mm）			±20	尺量连续 3 处以上
4	绑扎 搭接 长度	受拉	HPB 级钢	30d	尺量, 每 20m 检查 3 个接头
			HRB 级钢	35d	
		受压	HPB 级钢	20d	
			HRB 级钢	25d	
5	钢筋加工长度（mm）			-10, +5	尺量, 每 20m 检查 2 根
6	钢筋保护层厚度（mm）			+10, -5	尺量两端、中间各 1 处

9 小净距隧道及连拱隧道

9.1 小净距隧道

9.1.1 小净距隧道施工应结合中岩墙厚度、围岩条件及埋深等制定单项施工技术方案。

特别是超小净距隧道。

9.1.2 开挖和爆破应符合下列规定：

1 爆破应进行专门设计，并进行试爆，测试震动值，严格控制爆破震动，符合现行《爆破安全规程》(GB 6722) 规定。

2 先行洞与后行洞掌子面错开距离应大于 2 倍隧道开挖宽度。

9.1.3 初期支护应尽早封闭。

9.1.4 后行洞开挖时应加强对中岩墙的监控量测。

1 应进行变位、应力监控量测。

2 应进行后行洞的爆破震动影响监控量测。放入细则。

中岩墙现场监控量测项目及方法可按表 9.1.4 执行。

表 9.1.4 中岩墙现场监控量测项目及方法

序次	项目名称	方法、工具	布置	间隔时间		
				1~30d	1~3个月	大于3个月
1	中岩墙土压力	钢弦式压力盒	每 10-30m 一个断面， 每个断面 3 个压力盒	1-2 次/d	1 次 /2d	1 次/周
2	围岩内位移	多点位移计及千分表	每 10-30m 一个断面， 每个断面 2 个测点	同上	同上	同上
3	围岩压力	钢弦式压力盒	每 10-30m 一个断面， 每个断面 1 个压力盒	同上	同上	同上

8.1.1 小净距隧道施工单项技术方案应严格贯彻设计意图，并包括以下内容：

1 先行洞和后行洞开挖方法。

2 先行洞和后行洞爆破设计和爆破振动控制。

3 先行洞和后行洞开挖错开距离。

- 4 先行洞衬砌与后行洞开挖错开距离。
- 5 中岩墙保护方法。
- 6 非小净距隧道施工方案中的其他内容。

8.1.2 小净距隧道施工应重点控制爆破震动对中岩墙的危害。相邻爆破分段起爆间隔时间宜不小于 100ms。

为了减小相邻分段的爆破叠加效应。

8.1.3 开挖和爆破应符合下列规定：

1 不同围岩条件、不同净距的小净距隧道应按设计采用不同的开挖方法，V 级围岩应以机械开挖为主，辅以微量的弱爆破，中小跨度隧道可参考表 8.1.3-1。

表 8.1.3-1 小净距隧道开挖方法

围岩级别		中岩墙厚度 (m)			
		0.25b~0.375b	0.375b~ 0.5b	0.5b~0.75b	0.75b~1.0b
II、	先行洞	全断面法			
III	后行洞	台阶法	台阶法	全断面法	全断面法
IV	先行洞	台阶法			
	后行洞	侧壁导坑法	侧壁导坑法	侧壁导坑法	台阶法
V	先行洞	单侧壁导坑法			
	后行洞	单侧壁导坑法			

注：b 为单洞隧道的开挖宽度

2 对 III、IV、V 级围岩小净距隧道双洞间相互影响程度划分和小净距隧道爆破震动速度控制标准可参考表 8.1.3-2 和表 8.1.3-3。

表 8.1.3-2 小净距隧道双洞间相互影响程度划分

围岩条件		影响程度			分离式单洞
		严重影响	一般影响	轻微影响	
围岩 级别	III	$\leq 0.375b$	$(0.375 \sim 0.75)b$	$(0.75 \sim 2.0)b$	$\geq 2.0b$
	IV	$\leq 0.5b$	$(0.5 \sim 1.0)b$	$(1.0 \sim 2.5)b$	$\geq 2.5b$
	V	$\leq 0.75b$	$(0.75 \sim 1.5)b$	$(1.5 \sim 3.5)b$	$\geq 3.5b$

注：b 为单洞隧道的开挖断面的宽度

表 8.1.3-3 小净距隧道爆破震动速度控制标准值 (mm/s)

围岩级别	小净距隧道爆破震动速度控制标准值 (mm/s)
------	-------------------------

	严重影响	一般影响	轻微影响
III	80-100	100-120	150-200
IV	50-80	80-100	100-150
V	<50	50-80	80-100

3 先行洞的开挖可采用与分离式隧道相同的施工方法,但应重视爆破振动对中岩墙的影响。后行洞的开挖,当采用侧壁导坑法开挖时,宜先开挖靠近中岩墙侧。

考虑先、后开挖洞室的开挖方式时,土质机械开挖和石质爆破开挖所考虑的重点应由区别,石质爆破重点考虑减小爆破振动的影响,土质时要考虑对中岩墙的及时加固。

8.1.4 小净距隧道初期支护、二次衬砌应满足下列要求:

1 对于差围岩,应采用封闭的初期支护;对于好围岩,初期支护可不封闭,但应尽早浇筑仰拱。

2 先行洞室的二次衬砌宜在围岩变形基本稳定后进行,宜落后于后行掌子面 2 倍隧道开挖宽度以上,并满足本细则 7.1.3 条规定的稳定条件。

8.1.5 小净距隧道中岩墙采用水平预应力贯通锚杆加固时,应符合下列规定:

1 锚杆材料应满足设计要求,锚杆下料长度根据中岩墙厚度、锚杆布置和距离确定。垫板平面尺寸满足设计要求,螺帽采用球形底部。

2 钻孔

按设计要求定位、标记,钻孔方向宜与岩面垂直。钻孔位置允许偏差 15mm、深度允许偏差 $\pm 50\text{mm}$ 。

3 注浆、安插锚杆

用注浆管向孔内注浆,注浆压力不应大于 0.4MPa,注浆管应插至距孔底 50mm~100mm 处,水泥砂浆注入,缓慢拔除注浆管,随即迅速插入锚杆体。

4 施加预应力

贯通锚杆施工时,在先行洞锚杆钻孔内水泥砂浆强度达到设计后,通过扭力扳手对锚杆施加力进行初张拉,施加预应力为设计值的 50%;后行洞开挖暴露出锚杆端部的螺帽,通过扭矩扳手施加预应力至设计值,然后对先行洞锚杆补拉至设计值。

每根锚杆除砂浆锚杆段外,按设计有张拉自由段,用塑料套管保护。

施工前应在洞外标定出扭矩扳手力矩与锚杆拉力的关系。

9.2 连拱隧道

9.2.1 主洞开挖时应符合下列规定:

1 开挖先行主洞前,后行主洞围岩与中隔墙之间的空隙应按设计要求回填密实或支撑顶紧。

2 爆破设计时,不得以中导洞作为爆破临空面。

9.2.2 中隔墙混凝土施工应符合下列规定:

- 1 基础底面清扫干净,无水、无石渣。
- 2 墙身内预埋件、排水管固定牢固,位置准确。
- 3 中隔墙顶部应与中导洞顶紧密接触、回填密实。

9.2.3 侧墙开挖采用马口跳槽法施工时,马口开挖长度不宜超过 4m,同时应设置卡口梁。

9.2.4 开挖过程中应及时做好洞内排水系统,严禁洞内积水,排水沟不应沿边墙设置。

8.2.1 连拱隧道开挖时应考虑其埋深浅、跨度大、地质条件复杂、受雨季地表水影响大的特点。

8.2.2 连拱隧道开挖宜先贯通中导洞、浇筑中隔墙,然后依次开挖主洞。

8.2.3 主洞开挖时,左、右两洞开挖掌子面错开距离宜大于 30m。

8.2.4 中隔墙混凝土模板宜使用对拉拉杆。

8.2.5 中隔墙混凝土施工时应加强对预埋排水和止水设施的保护。

连拱隧道的重点是防水,可参考地铁的防水措施。

10 监控量测

10.1 一般规定

10.1.1 复合式衬砌和喷锚衬砌隧道开工前应制定施工全过程监控量测方案。

10.1.2 监控量测工作应结合开挖、支护作业的进程，按要求布点和监测，并根据现场实际情况及时调整补充，量测数据应及时分析、处理和反馈。

10.2 量测作业

10.2.1 在复合式衬砌和喷锚衬砌隧道施工时必须进行必测项目的量测。必测项目见表 10.2.1。

表 10.2.1 隧道现场监控量测必测项目

序号	项目名称	方法及工具	布 置	测试精度	量 测 间 隔 时 间			
					1~15d	16d~1个月	1~3个月	大于3个月
1	洞内、外观察	现场观测、地质罗盘等	开挖及初期支护后进行					
2	周边位移	各种类型收敛计	每 5~50m 一个断面，每断面 2~3 对测点	0.1mm	1~2次/天	1次/2天	1~2次/周	1~3次/月
3	拱顶下沉	水准测量的方法、水准仪、钢尺等	每 5~50m 一个断面	0.1mm	1~2次/天	1次/2天	1~2次/周	1~3次/月
4	地表下沉	水准测量的方法、水准仪、钢尺等	洞口段、浅埋段 ($h_0 \leq 2b$)	0.5mm	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/2~3天。 开挖面距量测断面前后 $> 5b$ 时，1次/3~7天。			

注：b 为隧道开挖宽度， h_0 为隧道埋深。

10.2.2 应根据设计要求、隧道横断面形状和断面大小、埋深、围岩条件、周边环境条件、支护类型和参数、施工方法等综合选择选测项目。选测项目见表 10.2.2。

表 10.2.2 隧道现场监控量测选测项目

序号	项目名称	方法及工具	布 置	测试精度	量 测 间 隔 时 间			
					1~15d	16d~1个月	1~3个月	大于3个月
1	钢架内力及外力	支柱压力计或其他测力计	每代表性地段1~2个断面, 每断面钢支撑内力3~7个测点, 或外力1对测力计	0.1MPa	1~2次/天	1次/2天	1~2次/周	1~3次/月
2	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	每代表性地段1~2个断面, 每断面3~7个钻孔。	0.1mm	1~2次/天	1次/2天	1~2次/周	1~3次/月
3	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1~2个断面, 每断面3~5个钻孔	0.1mm	同地表下沉要求			
4	围岩压力	各种类型岩土压力盒	每代表性地段1~2个断面, 每断面3~7个测点	0.01MPa	1~2次/天	1次/2天	1~2次/周	1~3次/月
5	两层支护间压力	压力盒	每代表性地段1~2个断面, 每断面3~7个测点	0.01MPa	1~2次/天	1次/2天	1~2次/周	1~3次/月
6	锚杆轴力	钢筋计、锚杆测力计	每代表性地段1~2个断面、每断面3~7锚杆(索), 每根锚杆2~4测点	0.01MPa	1~2次/天	1次/2天	1~2次/周	1~3次/月
7	支护、衬砌内应力	各类混凝土内应力计及表面应力解除法	每代表性地段1~2断面、每断面3~7个测点	0.01MPa	1~2次/天	1次/2天	1~2次/周	1~3次/月
8	围岩弹性波速度	各种声波仪及配套探头	在有代表性地段设置					
9	爆破震动	测振及配套传感器	临近建(构)筑物		随爆破进行			
10	渗水压力、水流量	渗压计、流量计		0.01MPa				
11	地表下沉	水准测量的方法 水准仪、钢钢尺等	洞口段、浅埋段($h_0 > 2b$)	0.5mm	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/2~3天。 开挖面距量测断面前后 $> 5b$ 时, 1次/3~7天。			

注: b 为隧道开挖宽度, h_0 为隧道埋深。

10.2.3 各项量测作业均应持续到变形基本稳定后 15~20d 结束。

10.2.4 应按表 10.2.4-1 和表 10.2.4-2 检查净空位移和拱顶下沉的量测频率，并与按表 10.2.1 确定的量测频率比较取大值。施工状况发生变化时（开挖下台阶、仰拱或撤除临时支护等），应增加监测频率。

表 10.2.4-1 净空位移和拱顶下沉的量测频率（按位移速度）

位移速度 (mm/d)	量测频率
≥ 5	2~3 次/d
1~5	1 次/d
0.5~1	1 次/2~3d
0.2~0.5	1 次/3d
< 0.2	1 次/3d~7d

表 10.2.4-2 净空位移和拱顶下沉的量测频率（按距开挖面距离）

量测断面距开挖面距离 (m)	量测频率
(0~1) b	2 次/d
(1~2) b	1 次/d
(2~5) b	1 次/2~3d
$> 5b$	1 次/3d~7d

注：b——隧道开挖宽度。

10.3 量测数据处理与应用

10.3.1 每次量测后应及时进行数据整理和数据分析，并绘制量测数据时态曲线和距开挖面关系图；地表下沉值应绘制沿隧道纵向和横向变化量和变化速率曲线。

10.3.2 应根据量测数据处理结果，及时提出调整和优化施工方案和工艺；围岩变形和速率较大时，应及时采取安全措施，并建议变更设计。

10.3.3 围岩稳定性、二次支护时间应根据所测得位移量或回归分析所得最终位移量、位移速度及其变化趋势、隧道埋深、开挖断面大小、围岩等级、支护所受压力、应力、应变等进行综合分析判定。

11 防水和排水

11.1 一般规定

11.1.1 隧道施工防排水设施应与营运防排水工程相结合。

11.1.2 应按设计做好衬砌混凝土、防水隔离层、施工缝、变形缝、诱导缝防水，盲沟、排水管（沟）排水应通畅。

11.1.3 防排水材料应符合国家、行业标准，满足设计要求，并有出厂合格证明。不得使用有毒的、污染环境材料。

11.1.4 隧道排水不得污染环境。

11.1.1 隧道防排水应遵循“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理”的原则，保证隧道结构物和营运设备的正常使用和行车安全，并对地表水、地下水妥善处理，形成一个完整通畅的防排水系统。

11.1.2 防水板施工前，应复核中线位置和高程，检查断面尺寸，保证衬砌施工后的衬砌厚度和净空满足规范和设计要求。围岩侵入限界部位应清楚、整修和补喷。

11.1.3 施工中应对洞内的出水部位、水量大小、涌水情况、变化规律、补给来源等做好观测和记录。预防涌水淹没洞室，危及人员、设备和环境安全，影响施工质量和工程进度。

11.1.4 隧道排水不得直接排入饮用水源。

11.2 施工防排水

11.2.1 隧道洞口及辅助坑道洞（井）口应及时做好排水系统，完善防排水措施。

11.2.2 覆盖层较薄和渗透性强的地层，地表水应及早处理。

11.2.3 洞内顺坡排水水沟断面应满足排除隧道中渗漏水 and 施工废水的需要，并经常清理排水设施，防止淤塞，确保水路畅通。膨胀岩、土质地层、围岩松软地段水沟中不得有积水，宜根据需要对水沟进行铺砌或用管槽代替。

11.2.4 洞内反坡排水必须采用水泵抽水。

11.2.5 洞内有大面积渗漏水和股水时，宜集中汇流引排。

11.2.6 明挖基坑和隧道洞口、竖井，应保持地下水位稳定在基底开挖线 0.5m 以下，必要

时应采取降水措施。

11.2.7 集水坑设置的位置不得影响井内运输和安全。

11.2.8 应制定防涌（突）水（泥）的安全措施。

11.2.9 严寒地区隧道施工排水时，应采取防冻措施。

11.2.1 隧道洞口及辅助坑道洞（井）口排水系统应符合下列规定：

1 边坡、仰坡坡顶的截水沟应结合永久排水系统在洞口开挖前修建，其出水口应防止水顺坡面漫流，洞顶截水沟应与路基边沟顺接组成排水系统，应防止水流冲刷弃渣危害农田和水利设施。

边仰坡顶截水沟的断面形式应与地形相适用。截水沟处渗漏水造成的塌方很多。要注意：断面形式不当造成沟背后截水下渗；沟背后回填不好造成水的下渗。沟的位置和排水坡度不当造成淤积后失效。截水沟处一般多是浅埋，截水沟施工造成此处围岩破碎和薄弱，再加上渗水的话，对隧道非常不利。

2 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。

3 多雨地区，应做好防止洞口仰坡范围内地表水下渗和冲刷的防护措施。

11.2.2 覆盖层较薄和渗透性强的地层，地表水处理应符合下列规定：

1 洞口附近和浅埋隧道洞顶不得积水。

2 黄土陷穴和岩溶孔洞等特殊地质应按设计要求处理。

黄土隧道洞顶的陷穴调查工作量很大，但其连通很好，对隧道洞口和洞身的施工和运营都可能产生很大影响，施工过程中和完工后都有因陷穴没有处理造成水毁的实例，一定要给以足够的重视。

3 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。

4 洞顶附近有井、泉、池沼、水田等时，应妥善处理，不宜将水源截断、堵死。

5 洞顶已有排水沟槽应予整治，确保水流畅通，必要时进行铺砌。

6 洞顶设有高压水池时，水池位置宜远离隧道轴线，水池应有防渗措施，对水池溢水应有疏导设施。

7 隧道地表沟谷（槽）、坑洼、钻孔、探坑等，宜采用疏导、勾补、铺砌和填平等措施，废弃的坑洞、钻孔等应填实密闭，防止地表水下渗。

11.2.3 洞内反坡排水应满足下列要求：

1 根据距离、坡度、水量、设备和施工组织布置管路，一次或分段接力将水排出洞

外。

- 2 抽水机的集水坑容积应按实际排水量确定, 应设在对施工干扰较小的位置。
- 3 抽水机功率应大于排水所需功率的 20%, 并备用抽水机。
- 4 做好停电时的应急排水准备工作。

11.2.4 宜采用钻孔集中汇流引排渗漏水时, 应对钻孔位置、数量、孔径、深度、方向和渗水量等作详细记录, 在确定衬砌拱墙背后排水设施时, 应考虑上述因素。

11.2.5 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。井点降水施工应符合下列要求:

- 1 根据降水要求, 选择降水形式、降水设备, 编制降水施工方案。
- 2 在隧道两侧地表面布置井点, 间距宜为 25~35m。井底应在隧底以下 3~5m。
- 3 应设水位观测井, 及时测定动水位, 调整降水参数, 保证降水效果。
- 4 重视降水范围内地表环境的保护, 制定包括量测监控, 回灌等措施, 预防地表超限下沉。

11.2.6 隧道施工有平行导坑或横洞时, 应充分利用辅助导坑排水, 降低正洞水位, 使正洞水流通过辅助道坑引出洞外。必要时应设置永久排水沟, 使坑道封闭后能保持水流畅通。

正洞施工由斜井竖井排水时, 应在井底设置集水坑, 采用相应扬程的抽水机经管路排出井外。集水坑设置的位置不得影响井内运输和安全。

集水坑的大小设计要有富余, 可考虑先反方向开挖一段正洞, 并作好防水处理, 作为集水坑。

斜井、竖井施工有水时, 应随开挖面挖积水坑, 根据水量大小采用抽水机或吊桶排出。竖井井壁渗水影响施工时, 可用压浆堵水, 固结地层后再进行开挖。

11.2.7 制定防涌(突)水的安全措施时, 应考虑开挖面布置超前钻孔, 预防水囊、暗河、高压涌水等的危害。应对工程地质和水文地质作详细的调查分析, 先判明地下水流方向, 再确定钻孔位置、方向、数目和钻孔深度, 并应采取下列防止涌水的措施:

- 1 非施工人员必须撤出危险区。
- 2 应及时测算水量、水压、流速、含泥砂量等, 备足配套的抽水设备。
- 3 在钻孔口预先埋管设阀, 控制排水量, 防止承压水冲击及淹没坑道等意外险情发生。
- 4 水平钻孔钻到预期的深度尚未出水时, 可会同设计单位进一步进行地质和水文的勘测工作, 重新判定地下水情况。

11.2.8 隧道通过不透水和透水性强的互层时, 应根据设计文件和调查资料提供的情况,

在可能进入滞水带前 20~30m, 用深孔钻机钻孔穿入透水层, 以利预探和排水。当涌水量很大, 用钻孔不能满足排水需要时, 应在衬砌完成地段或围岩坚硬稳定地段开挖迂回侧洞, 排除滞水带内储水。泄水洞施工前, 应参照设计文件提供的水文资料和涌水处理措施确定施工方法。

11.2.9 松散破碎含水地层中, 洞内工作面可采用人工降水法; 浅埋隧道可采用地表深井降水法减小水压, 降低地下水位。当含水量大且地段较长时, 可采用超前预注浆堵水。围岩注浆堵水应根据工程地质和水文地质条件, 通过试验做出设计, 再进行压浆。在施工过程中应修正各项注浆参数, 改进工艺操作, 提高堵水效果。

11.3 防排水结构施工

11.3.1 防水混凝土抗渗等级应符合设计要求。防水混凝土施工应符合现行《地下工程防水技术规范》(GB 50108) 规定。

11.3.2 防水混凝土施工配合比应通过试验确定, 并符合相关技术要求。

11.3.3 防水混凝土拌合物应采用机械搅拌, 搅拌时间不应小于 2min。掺外加剂时, 应根据外加剂的技术要求确定搅拌时间。

11.3.4 防水混凝土应振捣密实。

11.3.5 中心排水管(沟)坡度应符合设计要求。管路埋设好后, 应进行通水试验, 发现积水、漏水应及时处理。

11.3.6 防水板铺设应符合下列规定:

1 应减少接头。

2 搭接宽度不应小于 100mm。焊缝应严密, 单条焊缝的有效焊接宽度不应小于 12.5mm, 不得焊焦焊穿。

3 绑扎或焊接钢筋时, 不应损伤防水板。

钢筋焊接时一定要对防水板给与保护, 最好是用足够大、没有孔洞的石棉板防护。

4 混凝土振捣时, 振捣棒不得接触防水板。

11.3.7 施工缝的施工应符合下列规定:

1 混凝土应连续浇筑, 宜少留施工缝, 拱圈不应留纵向施工缝。

2 墙体水平施工缝不应设在剪力与弯矩最大处或底板与边墙的交接处。

3 墙体若有预留孔洞时, 施工缝距孔洞边缘不宜小于 300mm。

4 垂直施工缝设置宜与变形缝相结合。

5 应采取有效措施确保止水带（条）位置准确、固定牢固。

11.3.8 变形缝两侧应平整、清洁、无渗水。嵌缝应密实，嵌缝材料拉伸强度不应小于 0.2MPa，拉伸率应大于 300%，拉伸压缩循环性能的级别不应小于 8020。

11.3.9 遇水膨胀止水条施工应符合下列规定：

- 1 接头处不得留断点，搭接长度应 $\geq 50\text{mm}$ 。
- 2 止水条定位后至浇筑下一段混凝土前，应避免被水浸泡。
- 3 振捣混凝土时，振捣棒不得接触止水条。

11.3.10 止水带施工应符合下列规定：

- 1 止水带的接头每环缝不宜多于一处，不得设在结构转角处
- 2 止水带在转弯处应做成圆弧形，橡胶止水带的转角半径不应小于 200mm，钢片止水带不应小于 300mm，且转角半径应随止水带的宽度增大而相应加大。

3 不得在止水带上穿孔打洞固定止水带。止水带不得被钉子、钢筋和石子等刺破。

可以考虑使用带钢边的止水带，方便其固定。

11.3.1 隧道防水应提高混凝土自防水性能。防水混凝土抗渗等级应符合设计要求。在有冻害地区，防水混凝土的抗渗等级应适当提高。防水混凝土处于侵蚀性介质中时，其耐侵蚀系数不应小于 0.8。

防水混凝土的施工配合比设计应符合下列规定：

- 1 每立方米混凝土中水泥和矿物掺加总量不宜小于 320kg。
- 2 砂率宜为 35%~45%。
- 3 水灰比不得大于 0.55。
- 4 非泵送防水混凝土的坍落度不宜大于 50mm。泵送防水混凝土的入泵坍落度宜为 100~140mm。坍落度每小时的损失值不应大于 30mm。
- 5 掺加引气剂的混凝土含气量应控制在 3%~5%。
- 6 防水混凝土采用预拌混凝土时，缓凝时间宜为 6~8h。
- 7 抗渗性能试验：6 个试件中有 4 个未出现最大水压值为合格。

11.3.2 防水混凝土配料应按配合比准确称量。混凝土拌制和浇筑过程控制应符合下列规定：

1 拌制混凝土所用材料的品种、规格和用量，每作业班检查不应少于两次。每盘混凝土各组成材料计量结果的偏差应符合表 11.3.2-1 的规定。

表 11.3.2-1 混凝土组成材料计量结果的允许偏差（%）

混凝土组成材料	每盘计量	累计计量
---------	------	------

水泥、掺合料	±2	±1
粗、细集料	±3	±2
水、外加剂	±2	±1

注：累计计量适用于微机控制计量的搅拌站

2 混凝土在浇筑地点的坍落度，每作业班至少检查两次。混凝土的坍落度试验应符合现行《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080)的有关规定。混凝土实测的坍落度与要求坍落度之间的偏差应符合表 11.3.2-2 的规定。

表 11.3.2-2 混凝土坍落度允许偏差

要求坍落度 (mm)	允许偏差 (mm)
≤40	±10
50~90	±20
≥100	±30

11.3.3 防水混凝土拌合物在运输后如出现离析，必须进行二次搅拌。当坍落度损失后不能满足施工要求时，应加入原水灰比的水泥浆或二次掺加减水剂进行搅拌，严禁直接加水。

11.3.4 防水混凝土宜采用高频机械振捣密实，振捣时间宜为 10~30s，以混凝土泛浆和不再冒气泡为准，应避免漏振、欠振和超振。掺加引气剂或引气型减水剂时，应采用高频插入式振捣器振捣。

11.3.5 纵、横、环向盲管、中心排水管（沟）的施工应符合下列规定：

- 1 排水盲管的材质、直径、透水孔的规格、间距应符合设计及有关标准规范的规定。
- 2 环向排水盲管的间距应符合设计要求，在地下水较大的地段应适当加密。
- 3 环向排水盲管应紧贴支护表面或渗水岩壁安设，排水盲管布置应圆顺，不得起伏不平。
- 4 排水管系统应按设计连通形成完整的排水系统。管路连接宜采用变径三通方式，连接应牢固、畅通，安装坡度应符合设计要求。
- 5 中心排水管（沟）直径应符合设计要求。中心排水管（沟）基础的总体坡度、段落坡度、单管坡度应协调一致，并符合设计要求，不得高低起伏。
- 6 中心排水管（沟）设在仰拱下时，应和仰拱、底板同步施工。

11.3.6 初期支护施工时，应注意保护排水盲管。

11.3.7 防水板宜选用高分子材料，幅宽 2~4m，厚度不宜小于 1.5mm，并应符合设计要求，

耐穿刺性好、柔性好、耐久性好；塑料防水板的物理力学性能应符合表 11.3.7 的要求。

表 11.3.7 塑料防水板主要物理性能

项目	拉伸强度 (MPa)	断裂延伸率 (%)	热处理时变化率 (%)	低温弯折性	抗渗性
指标	≥12	≥200	≤2.5	-20℃无裂纹	0.2MPa, 24h 不透水

11.3.8 防水板铺设应超前二次衬砌施工 1~2 个衬砌段，并应与开挖掌子面保持一定距离。初期支护表面应平整，无空鼓、裂缝、松酥，对支护表面外露的尖硬物和局部渗漏水处应先行处理，不平处用喷射混凝土或砂浆找平。表面平整度应符合式 (11.3.8) 规定。

$$D/L \leq 1/6 \quad (11.3.8)$$

式中：L——初期支护表面相邻两凸面间的距离；

D——初期支护表面相邻两凸面之间岩石凹进去的深度。

11.3.9 防水板铺设应符合下列规定：

1 防水板铺设宜采用专用台架。铺设前进行精确放样，画出标准线后试铺，确定防水板每环的尺寸，并尽量减少接头。

2 防水板应无钉铺设，并留有余量，防水板与初期支护或岩面应密贴。

3 防水板的搭接缝焊接质量应按充气法检查，当压力达到 0.25MPa 时停止充气，保持 15min，压力下降在 10% 以内，焊缝质量合格。

防水板是隧道防水的最重要的手段，是防水成功的关键所在。充气检查是费用低效果好的控制手段，一定要认真做。

11.3.10 施工缝的施工应符合下列规定：

1 仰拱不宜留纵向施工缝。

2 墙体水平施工缝应设在高出底板面不小于 300mm 的墙体上。拱墙结合的水平施工缝，宜设在拱墙接缝线以下 150~300mm 处。

3 水平施工缝混凝土浇筑前，应将其表面清理干净。涂刷混凝土界面处理剂；或者，先刷不低于结构混凝土强度等级的净浆，再铺 25~30mm 厚的 1:1 水泥砂浆。及时浇筑混凝土。冬季还应做好施工缝部位的防冻。

4 垂直施工缝施工时，应将其表面浮浆和杂物清除。刷不低于结构混凝土强度等级的净浆或涂混凝土界面处理剂。及时浇筑混凝土。端头模板应支撑牢固，严防漏浆。端头应埋设表面涂有脱模剂的楔形硬木条（或塑料条），形成预留浅槽，其槽应平直，槽宽比止水条宽 1~2mm，槽深为止水条厚度的 1/2~2/3，将遇水膨胀止水条牢固地安装在预留浅槽内。

11.3.11 变形缝应满足密封防水、适应变形、施工方便、检修容易等要求，变形缝的施工应符合下列规定：

1 沉降变形缝的最大允许沉降差值应符合设计规定, 设计无规定时, 不应大于 30mm。当计算沉降差值大于 30mm 时, 应采取特殊措施。

2 沉降变形缝的宽度宜为 20~30mm。伸缩变形缝的宽度宜小于此值。

3 变形缝处混凝土结构的厚度不应小于 300mm。

4 缝底应设置与嵌缝材料无粘接力的背衬材料或遇水膨胀止水条。

11.3.12 遇水膨胀止水条应采用预留槽嵌入法, 并符合下列规定:

1 挡头板制作时应预留安装止水条的浅槽。

2 拆除混凝土模板后, 修整预留槽, 凿毛施工缝, 清除浮渣, 将止水条嵌入槽内, 用配套的胶粘剂或水泥钉固定止水条, 再浇筑下一环混凝土。

3 遇水膨胀止水条接头处应重叠搭接后再粘接固定, 沿施工缝形成闭合环路, 如图 11.3.12。

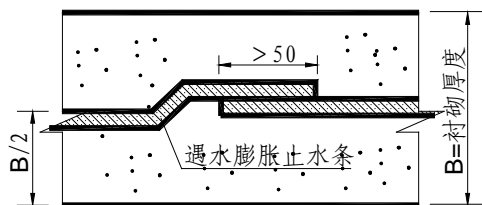


图 11.3.12 遇水膨胀止水条搭接示意图

4 止水条定位后至浇筑下一环混凝土前, 应避免被水浸泡, 必要时加涂缓膨剂, 防止其提前膨胀。

11.3.13 止水带施工应符合下列规定:

1 止水带埋设位置应正确, 其中间空心圆环应与变形缝的中心线重合; 止水带定位时, 应使其在界面部位保持平展, 防止止水带翻滚、扭结, 如发现有扭结不展现象应及时进行调正; 在固定止水带和灌筑混凝土过程中应防止止水带偏移, 以免单侧缩短, 影响止水效果。

2 止水带先施工一侧混凝土时, 其端头模板应支撑牢固, 严防漏浆。

3 止水带的接头应连接牢固, 宜设在距铺底面不小于 300mm 的边墙上。

4 止水带在转弯处应做成圆弧形, 橡胶止水带的转角半径不应小于 200mm, 钢片止水带不应小于 300mm, 且转角半径应随止水带的宽度增大而相应加大。

5 不得在止水带上穿孔打洞固定止水带。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。

6 宜加强混凝土振捣控制, 排除止水带底部气泡和空隙, 使止水带和混凝土紧密结合, 应注意防止振捣造成止水带偏位或破损。

7 止水带的长度应根据施工需要事先向生产厂家定制, 尽量避免接头。如确需接头,

根据止水带材质和止水部位可采用不同的接头方法。橡胶止水带的接头形式应采用搭接或复合接；塑料止水带的接头形式应采用搭接或对接。止水带的搭接宽度不应小于 100mm，冷粘或焊接的缝宽不应小于 50mm。

11.3.14 止水条宜选用制品型遇水膨胀止水条，其物理力学性能应符合表 11.3.14 的要求：

表 11.3.14 制品型遇水膨胀橡胶止水条物理力学性能

序 号	项 目	指 标
1	硬度（邵氏 A）（度）	42±7
2	拉伸强度（MPa）	≥3.5
3	扯断伸长率（%）	≥450
4	体积膨胀倍率（%）	≥200
5	反复浸水试验	拉伸强度（MPa）
		扯断伸长率（%）
		体积膨胀倍率（%）
6	低温弯折—20℃×2 h	无裂纹
7	防霉等级	优于 2 级

- 注：1. 硬度为推荐项目，其余均为强制项目。
 2. 成品切片测试应达到标准的 80%。
 3. 接头部位的拉伸强度不得低于标准强度的 50%。
 4. 体积膨胀倍率是浸泡后的试样质量与浸泡前的试样质量的比率。

11.4 注浆防水

11.4.1 隧道开挖后，周边个别部位出现明显漏水时，应进行局部注浆处理。

11.4.2 初期支护后出现大面积渗漏水，应进行径向注浆或初期支护背后回填注浆，径向注浆或初期支护背后回填注浆应符合下列规定：

- 1 径向注浆孔深应符合设计要求。
- 2 初期支护背后回填注浆孔深不应小于 0.5m。
- 3 钻孔注浆顺序应由水少处向水多处进行。
- 4 注浆材料宜以水泥类浆液为主，可采用快凝早强水泥。
- 5 注浆终压宜为 0.5~1.0MPa。

11.4.3 注浆过程中应进行监测，当发生围岩或支护结构变形超过允许值、堵塞排水系统、窜浆、危及地表安全等异常情况时，应采取处置措施。

11.4.4 注浆施工不得污染水源。

11.4.1 隧道开挖后或初期支护完成后仍存在渗漏水时,应根据地质情况及隧道允许排水量选择径向注浆、局部注浆、回填注浆等注浆防水方案。

11.4.2 局部注浆应符合下列规定:

1 在出水点上游钻孔注浆截断水源,并在出水点周围布孔加固围岩,加固深度宜为隧道开挖轮廓线外 3~5m。

2 注浆材料宜以水泥类浆液为主,水量较大时宜采用快凝、早强水泥。

3 注浆顺序为由水少处到水多处钻注,注浆终压宜为 1~2MPa。

11.4.3 初期支护后出现大面积渗漏水,应进行径向注浆或初期支护背后回填注浆,并符合下列规定:

1 径向注浆孔深应符合设计要求,一般情况下不宜小于 3m。

2 初期支护背后回填注浆孔深不应小于 0.5m。

3 钻孔注浆顺序应由水少处向水多处进行。

4 注浆材料宜以水泥类浆液为主,可采用快凝早强水泥。

5 注浆终压宜为 0.5~1.0MPa。

11.4.4 注浆前,应将钻孔吹洗干净,做压稀浆试验,测定地层的吸浆和扩散、固结情况,防止注浆压力过大,破坏围岩整体性。

11.4.5 注浆过程中发生异常情况时,可采取下列措施:

1 降低注浆压力、采用间歇注浆等。

2 改变注浆材料、工艺、参数。

3 调整注浆方案。

11.4.6 单孔注浆结束标准应符合下列规定:

1 分段注浆各孔段均达到设计终压并稳定 10min,且进浆速度小于初始速度的 25%,或注浆量不小于设计注浆量的 80%。

2 全孔一次性注浆压力达到设计终压。

3 满足设计要求。

11.4.7 注浆结束后,宜采取钻孔取芯法对注浆效果进行检查,并测定钻孔出水量,检查孔的数量应不少于注浆孔总数的 5%且不少于 3 个。当检查孔出水量不大于 1.0L/min 时,注浆效果满足要求,否则应进行补充注浆和重新检查。注浆钻孔及检查孔应封填密实。

11.4.8 在注浆施工期及工程结束后,应对水源取样检查。当有污染时,应及时采取相应

措施。

11.5 质量检验及标准

11.5.1 隧道防排水工程质量应符合下列规定：

- 1 拱部、墙部、设备洞、车行和人行横通道不渗水。
- 2 路面干燥无水。
- 3 洞内排水通畅，不淤积、不堵塞。
- 4 有冻害地区隧道衬砌背后不积水，排水沟不冻结。

11.5.2 洞口排水沟施工质量应符合表 11.5.2 规定。

表 11.5.2 洞口排水沟质量标准

序号	项目	规定值或允许偏差	检验方法和频率
1	轴线偏位 (mm)	±50	仪器测量，每条水沟不少于 5 处
2	沟底高程 (mm)	±15	
3	排水沟纵坡 (%)	±0.5%、不积水	
4	水沟宽度 (mm)	+30, 0	尺量，每条水沟不少于 4 处
5	水沟侧墙高度 (mm)	-10	
6	壁厚 (mm)	-10	

11.5.3 洞内排水沟布置、结构形式、纵向坡度应满足设计要求。水沟断面尺寸应符合表 11.5.3 规定。

表 11.5.3 洞内水沟断面尺寸质量标准

序号	项目	允许偏差	检验方法和频率
1	断面尺寸 (mm)	±10	尺量，每 100m 随机检查 5 处
2	壁厚 (mm)	±5	
3	高度 (mm)	0, -20	
4	沟底高程 (mm)	±20	水准仪，每 20m 测高程

11.5.4 防水混凝土抗压强度应满足设计要求。抗渗性能由抗渗试验结果评定，试件应在浇筑现场制作，在标准条件下养护。防水混凝土的质量应符合表 11.5.4 规定。

表 11.5.4 防水混凝土质量标准

序号	项目	允许偏差	检验方法和频率
1	抗压强度	在合格标准内	按附录 A 检验
2	抗渗等级	符合设计	每 200m 衬砌做一组 (6 个) 试件
3	耐久性	符合设计	每 200m 衬砌做一组 (3 个) 试件

11.5.5 防寒泄水洞位置、结构形式、纵坡及混凝土强度和抗渗性能均应符合设计要求。防寒泄水洞应排水通畅，无淤积堵塞。防寒泄水洞尺寸、高程等应符合表 11.5.5 规定。

表 11.5.5 防寒泄水洞质量标准

序号	项目	允许偏差	检验方法和频率
1	断面尺寸 (mm)	±50	尺量, 每 10m 量 1 次
2	高程 (mm)	±20	仪器测量, 每 10m 测量高程及位置
3	平面位置 (mm)	±50	

11.5.6 检查井的壁厚应符合设计要求, 混凝土强度和抗渗性能应符合 11.5.4 条规定。检查井施工质量应符合表 11.5.6 规定。

表 11.5.6 检查井质量标准

序号	项目	规定值或允许偏差 (mm)	检查方法和频率
1	轴线偏位	±50	经纬仪: 每个检查
2	断面尺寸	±20	尺量: 每个检查
3	井底高程	±20	水准仪: 每个检查
4	井盖与相邻路面高差	0, +4	水准仪、水平尺: 每个检查

11.5.7 防水板、土工布的材质、性能、规格必须满足设计要求, 铺设防水板的基面应坚实、平整、圆顺, 无漏水现象。基面平整度应符合 $D/L \leq 1/6$ (L 为初期支护喷层相邻两凸面间的距离, D 为与 L 对应的相邻两凸面之间凹进去的深度) 的规定。防水板焊接焊缝应全部进行充气检查。防水板施工质量应符合表 11.5.7 规定。

表 11.5.7 防水板施工质量标准

序号	项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	搭接宽度 (mm)		≥ 100	尺量: 全部搭接均要检查, 每个搭接检查 3 处
2	缝宽 (mm)	焊接	两侧焊缝宽 ≥ 25	尺量: 每个搭接检查 5 处
		粘接	粘缝宽 ≥ 50	
3	固定点间距 (mm)	拱部	0.5~0.7	尺量: 检查总数的 10%
		侧墙	1.0~1.2	
4	接缝与施工缝错开距离 (mm)		≥ 500	尺量: 每个接缝检查 5 处

11.5.8 施工缝、变形缝所用止水带材质、规格、性能应符合设计要求。止水带与衬砌端头模板应正交。止水带施工质量应符合表 11.5.8 规定。

表 11.5.8 止水带质量标准

序号	项目	允许偏差	检查方法和频率
1	纵向偏离 (mm)	±50	尺量: 每环至少 3 处

2	偏离衬砌中心线(mm)	≤ 30	尺量：每环至少 3 处
---	-------------	-----------	-------------

12 风、水、电供应

12.1 供风和供水

12.1.1 空气压缩机站设置应合理，并有防水、降温和防雷击设施。

12.1.1 空气压缩机站设备能力应能满足同时工作的各种风动机具最大耗风量和风压的要求。

空压站应设在空气洁净、通风良好、地基稳固且便于设备搬运之处，并应尽量靠近洞口，以缩短管路，减少管道漏风损耗，以免风压损失过多。当有多个洞口需集中供风时，应靠近用风量较大的洞口，选择在适当位置，使管路损耗尽量减少。为充分发挥设备潜力，应综合考虑电动、内燃空气压缩机的优缺点，合理配备使用。对于 1000m 以下隧道，宜以内燃空气压缩机为主；1000m 以上隧道宜以电动空气压缩机为主。空气压缩机的生产能力应能满足各种常用的风动机具如凿岩机、风钻台车、装渣机、喷混凝土机具、锻钎、压浆机等的要求，及保证掌子面使用风压满足要求。空压站的生产能力计算方法可参考《公路隧道施工技术细则》第 12.1.1 条条文说明。空气压缩机站应设有防水、降温和防雷击设施。处于寒冷地区的空气压缩机站机房，还应设有取暖设备。

12.1.2 隧道掌子面使用风压应不小于 0.5MPa，高压风管的直径应通过计算确定。

12.1.2 空气压缩机站应设在洞口附近，当有多个洞口需集中供风时，可选在适中位置，但应靠近用风量较大的洞口。长隧道及特长隧道可将空压站布设在洞内适当位置。空气压缩机站应有具体的防水、降温和防雷击设施。

12.1.3 高压风管的直径应根据最大送风量、风管长度、闸阀等计算确定。

国产的各种轻型风动凿岩机，一般使用风压为 0.4~0.6MPa。开挖面风压小于 0.5MPa 时将不能正常工作。风管的选择应满足工作风压不小于 0.5MPa 的要求。为保证工作风压，钢管终端的风压不得小于 0.6MPa，通过胶皮风管输送至风动机具的工作风压不得小于 0.5MPa。空压机生产的压缩空气在运输过程中，由于管壁摩擦、接头、阀门等产生阻力，其压力会损失，尤其是连接钢管与风动机具的胶皮风管，其压力损失较大，一般应尽量缩短其使用的长度。根据达西公式可计算钢管的风压损失，计算后所得的终端风压符合上述要求即可。目前计算风管存在漏风时的风机压力仍采用达西公式：

$$H = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{\lambda}{2g} \left(\frac{Q}{F} \right)^2$$

式中 H——风管内静压 (毫米水银柱);

λ ——摩擦阻力系数;

L——风管长度 (米);

d——风管直径 (米);

ζ ——局部阻力系数;

γ ——空气容重 (公斤/米³); g——重力加速度 (米/秒²);

F——风管断面积 (米²);

Q——风量 (米³/秒)。

在取 Q 值时, 采取了几何平均

$$Q = \sqrt{Q_f \times Q_0}$$

风管漏风量与压力关系:

$$q = K \times \sqrt{H}$$

式中 q——漏风量;

H——风管内静压;

K——漏风系数。

在风管长, 漏风量大的情况下用平均风量计算压力会产生较大的误差。总之, 风管漏风与管制造、安装质量、风管内压力, 风管接头多少等相关, 而压力又与风管总长、局部阻力位置, 摩擦阻力, 风速大小等有关。以上公式在全面、准确反映这些因素时存在问题, 特别是未包含局部阻力位置的影响。因此计算结果与实际情况出入较大。由于目前对风管安装质量无统一公认的标准。设计者对风管漏风量、风机工作压力无成熟的计算公式, 致使管路通风造成巨大浪费。

12.1.3 高压风、水管路的安装使用, 应符合下列规定:

1 洞内风、水管不宜与电缆电线敷设在同一侧。

2 在空气压缩机站和水池总输出管上必须设总闸阀；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。

3 高压风、水管在安装前应进行检查，有裂纹、创伤、凹陷等现象时不得使用，管内不得保留有残余物和其他脏物。

12.1.4 高压风管路的安装使用，应符合下列规定：

1 管路应敷设牢固、平顺，接头严密，不漏风。

2 洞内风管不应妨碍运输、影响边沟施工。

3 洞外地段，当风管长度超过 100m 和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。

4 风管前端至开挖面宜保持 30m 距离，并用高压软管连接分风器，通往上导坑开挖面使用的软管长度不宜大于 50m。分风器与凿岩机间连接的胶皮管长度，不宜大于 15m。

5 风管使用中应有专人负责检查、养护。

12.2 供电与照明

12.2.1 非瓦斯隧道施工供电应采用 400/230V 三相五线系统。

12.3.1 非瓦斯隧道施工供电电压应符合下列规定：

1 动力设备应采用三相 380V。

2 照明电压，一般作业地段不宜大于 36V，成洞段和不作业地段可采用 220V，手提作业灯为 12~24V。

3 低压线路末端的电压降不应大于 10%。

4 高压分线部位应设明显危险警告标志。

三相五线制中五线指的是：3 根相线加一根地线一根零线。如果零线和接地线共用一根线的话，对于电路中的工作零点会有影响的，虽然理论上它们都是 0 电位点，如果偶尔有一个电涌脉冲冲击到工作零线，而零线和地线却没有分开，比如这种脉冲却是因为相线漏电引起的，那么电器外壳就可能会带电，可能会损坏电气元件的，甚至损坏电器，造成人身安全的危险。零线和地线的根本差别在于一个构成工作回路，一个起保护作用叫做保护接地。

12.2.2 瓦斯隧道供电照明应符合《煤矿安全规程》的有关规定。

隧道内非瓦斯工区和低瓦斯工区的电气设备和作业机械可使用非防爆型,其行走机械严禁驶入高瓦斯工区和瓦斯突出工区。隧道内高瓦斯工区和瓦斯突出工区的电气设备和作业机械,必须是防爆型。高瓦斯工区和瓦斯突出工区供电应配置两套电源。工区内采用双电源线路,其电源上不得分接隧道以外的任何负荷。

瓦斯工区内各级配电电压和各种机电设备的额定电压等级应符合下列要求:(1) 高压不应大于 10000V。(2) 低压不应大于 1140V。(3) 照明、手持式电气设备的额定电压和电话、信号装置的额定供电电压,应符合下列要求:①低瓦斯工区不应大于 220V。②高瓦斯工区和瓦斯突出工区不应大于 127V。③远距离控制线路的额定电压不应大于 36V。瓦斯隧道内的配电变压器严禁中性点直接接地。严禁由洞外直接接地的变压器或发电机直接向瓦斯工区内供电。

瓦斯隧道照明灯具的选用,应符合下列要求:(1) 已衬砌地段的固定照明灯具,可采用 Exd II 型防爆照明灯具。(2) 开挖工作面附近的固定照明灯具,必须采用 Exd1 型矿用防爆照明灯具。(3) 移动照明,必须使用矿灯。

《煤矿安全规程》对瓦斯隧道的施工供电与照明有详细规定,应遵守。

12.2.3 洞外变电站应设置防雷击和防风装置。

12.3.2 洞外变电站宜设在靠近负荷集中地点和设在电源来线一侧。当变电站电源线需跨越施工地区时,其最低点距人行道和运输线路的最小高度应满足:电压 35kV 时 7.5m,电压 6~10kV 时 6.5m,电压 400V 时 6m。

变压器容量应按电气设备总用量确定。当单台电动设备容量超过变压器容量 1/3 时,宜适当增加启动附加容量。

变电站防雷主要包括以下几个方面,一是直击雷防护,主要保护建筑物和变电站设备。二是线路防雷,防止雷电波侵入。三是控制系统防雷,分为电源和信号防雷。防直击雷就是架设避雷针并有效接地,一般要求独立接地。线路防雷主要就是安装避雷器并有效接地。控制系统防雷主要是做等电位和分级防护。

变电站应根据施工当地气候条件制定出切实可行防风管理措施,刮大风时,应重点检查设备引流线、阻波器、瓦斯继电器的防雨罩等是否存在异常。每日检查和清理变电站设备区、变电站围墙及周围的漂浮物等,防止被大风刮到变电站运行设备上造成故障。

12.2.4 洞内供电线路布置和安装应符合下列规定:

1 成洞地段固定的电线路,应采用绝缘良好的胶皮线架设。施工地段的临时电线路应采用橡套电缆,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 涌水隧道的电动排水设备、瓦斯隧道的通风设备以及斜井、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和防爆措施。

3 动力干线上的每一分支线，必须装设开关及保险装置。严禁在动力线路上加挂照明设施。

照明和动力线路安装在同一侧时，必须分层架设。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，应大于 3.5m。瓦斯地段的电缆应沿侧壁铺设，不得悬空架设；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。输电干线或动力、照明线路安装，在同一侧分层架设的原则是：高压线在上、低压线在下，支线在下；动力线在上，照明线在下。且应在风、水管路相对的一侧。配电柜、箱采用国家标准的合格产品，封闭严密；不乱接电源，各种机械设备做到“一机一闸一漏”；供电线路要配置漏电保护装置，设专人统一管理并负责日常检查、维修的保养。

12.2.5 洞内变电站设置应符合下列规定：

1 成洞地段洞内设置 6~10kV 变电站时，应有保证安全的措施。

2 洞内变电站，应设置在干燥的紧急停车带或不使用的横通道内，变压器与周围及上下洞壁的最小距离，不得小于 300mm，同时应按规定设置灯光、轮廓标等安全防护设施。

3 洞内高压变电站应采用井下高压配电装置或相同电压等级的油开关柜，不应使用跌落式熔断器。应有防尘措施。

12.3.3 洞内供电线路布置和安装应符合下列规定：

1 照明和动力电线路安装在同一侧时，必须分层架设。电线悬挂高度应满足：400V 以下不应小于 2.5m，6~10kV 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。

2 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。

12.3.4 洞内变电站设置应符合下列规定：

1 短隧道变压器应设置在洞口，再低压进洞；成洞地段用 6~10kV 高压电缆送电，洞内设置 6~10kV 变电站，应有保证安全的措施。

2 洞内高压变电站之间的距离宜为 1000m，由变电站分别向相反两方向供电，每一方供电距离宜采用 500m。

当洞内输电距离太长，如果超过 800m，应适当减小导线电阻；超过 1.3km 时，电压降太大，电动机械电压不足，效率低，此时应考虑高压线进洞，洞内设变电站。低压则最好采用成套组合电器和带负荷调压变压器，或采用带有空气断路器的井下低压配电盘，或临时装设自动空气开关。

洞内设置的 6~10kV 高压变电站，应有下列安全保证措施：（1）无瓦斯隧道可采用中

性接地系统的普通变压器。(2) 开关设备应用井下高压变电箱或油开关柜, 不得用一般跌落式保险丝具代替油开关。(3) 变电站应安设在不漏水的区段, 按有关要求设置安全防护措施, 非工作人员不得进入变电站内。

每一斜、竖井井底设中央变电站一座, 由地面变电站 6~10KV 母线引出电缆供电, 电缆线路应不少于两回路, 并接于不同的母线段。当任一回路停止供电时, 其余回路应能担负全部一类负荷。

12.2.6 对各种电气设备和输电线路应有专人经常进行检查维修、调整等工作, 其作业要求应符合现行《建设工程施工现场供用电安全规范》(GB 50194) 和《用电安全导则》(GB/T 13869) 及《电力建设安全工作规程》(DL 5009) 的有关规定。

电气设备的维护和修理应做到以下几点:

一、电气设备的检修、维护、修理和调整工作, 必须由专职的或临时指派的电气维修工进行, 高压设备的修理和调整工作, 应实行工作票制度。

二、洞内电气设备的检修, 必须停电, 验电确认无电后, 应立即将检修设备接地并三相短路, 然后将电气设备闭锁好, 挂上“禁止合闸, 有人工作”的标示牌之后, 由两人以上执行, 其中级别较高的一人, 应为监护人。

三、电气设备应进行定期检查、维护。

1、配电系统继电保护装置检查整定每季一次。

2、主要电气设备的绝缘电阻检查每月一次。但是, 当连续停用 48h 以上时, 在使用前应进行绝缘电阻测定。

3、新安装的电气设备的绝缘电阻和接地电阻的测定, 投入运行前进行。

4、电气设备的保护接地每班应由当班工作人员进行一次外表检查。

四、油断路器经三次切断短路故障后, 其绝缘油应加试一次电压耐压试验, 并检查有无游离碳。

电缆的维护应做到以下几点:

一、电缆应定期进行巡查, 巡查的主要内容: 电缆外护层是否有放电烧损情况; 电缆及终端是否有漏油情况; 终端瓷套是否清洁、接地线有无松动断股现象; 电缆挂钩、夹子、卡箍等有无松动或锈烂现象。每周巡查 1~2 次。

二、电缆温度检查每月至少 1 次, 测量电缆温度应在负荷最大时进行。三、用配电盘电流表或钳型电流表在有代表性的时间里测定负荷电流, 其值不超过允许载流量。

四、电缆金属护层的接地线应同洞内接地网的主接地极相连接, 接地电阻应每季测 1 次, 其值应不大于 4Ω 。

五、在喷混凝土时, 应对电缆进行遮护, 避免混凝土沾在电缆上。

12.2.7 隧道施工作业地段必须有充足的照明。

12.2.8 漏水地段照明应采用防水灯头和灯罩，瓦斯地段照明应采用防爆灯头和灯罩。

12.3.5 隧道施工作业地段采用普通光源照明时，其照度应满足表 12.3.5 的要求。

表 12.3.5 隧道施工照明标准

施工作业地段	照度标准 (lx) (平均照度不小于)
施工作业面	30
开挖地段和作业地段	10
运输巷道	6
特殊作业地段或不安全因素较多地段	15
成洞地段	4
竖井内	8

1 不安全因素较大的地段可加大照度。

2 在主要交通道路、洞内抽水机站或竖井等重要处所，应有安全照明。漏水地段照明应采用防水灯头和灯罩。瓦斯地段的照明器材料应采用防爆型。

3 隧道施工照明也宜采用荧光灯、荧光高压汞灯、卤钨灯、长弧氙灯或高压钠灯等光源照明。

原隧道施工规范关于洞内照明的要求，采用的是白炽灯的标准，单位为瓦特 (W)，本次修订改用国际通用的照明单位勒克斯 (lx) 作标准，但由于当前市场照明灯具仍用瓦特 (W) 为单位。因此隧道施工时，照明可按下列要求进行照明安排：

1 采用白炽灯时，施工地段每平方米不宜小于 15W，不安全因素较大地段可适当增加。

2 运输巷道在未成洞段每隔 6m、成洞地段每隔 10m 装设 100W 灯一盏；在主要交通道路等重要处所应有安全照明。

为了节约能源，可采用其他新光源照明，如荧光灯、高压钠灯、低压钠灯、卤钨灯等，这些新光源具有照明效果好、节约能源、使用寿命长等特点，在长大隧道中深受用户欢迎。新光源洞内外照明布置要求见下表。

新光源洞内外照明布置

工 作 地 段	照 明 布 置
开挖面后 40m 以内作业段	两侧用 36V500W 卤钨灯各 2 盏（或 300W 卤钨等 7 盏，以不少于 2000W 为准），灯泡距隧道底面高 4m
开挖面后 40m~100m 区段	安设 2 盏 400W 高压钠灯和 2 盏 400W 钠铊铟灯，间距约 15m，灯泡距隧道底面高 5m
开挖面后的 100m 至成洞末端	每隔 40m，左右侧各设计 400W 高压钠灯 1 盏
模板台车衬砌作业段	台车前台 10~15m，增设 400W 高压钠灯各 1 盏，台车上亮度不足时，增设 36V300W 或 500W 卤钨灯
成洞地段	每隔 40m 安装 400W 高压钠灯 1 盏

斜井、竖井井身掌子面及喷混凝土作业面	使用 36V500W 卤钨灯,已施工井身部分选用小功率 110V 高压钠灯, 间距: 混合井 30m 安装 1 盏, 主副井每 25m 安装 1 盏
洞外场地	每隔 200m 安装高压钠灯 1 盏

防水、防爆灯头和灯罩主要是为保证特殊地段隧道施工安全而采用的防护器具,应符合国家有关标准的规定。

13 通风、防尘、防有害气体

13.0.1 隧道施工中作业环境符合下列卫生及安全标准:

- 1 空气中的氧气含量在作业过程中始终保持在 19.5%以上。严禁用纯氧进行通风换气。
- 2 空气中的一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO₂)、氮氧化物 (NO₂) 等有害气体浓度必须符合表 13.0.1-1 规定。
- 3 空气中的粉尘浓度应符合表 13.0.1-2 规定。

表 13.0.1-1 工作场所空气中有毒物质容许浓度(mg/m³)

中文名 (CAS No.)	MAC	TWA	STEL
二氧化氮	--	5	10
二氧化硫	--	5	10
二氧化碳	--	9000	18000
一氧化氮	--	15	30*
一氧化碳			
非高原	--	20	30
高原			
海拔 2000 米 ~	20	--	--
海拔>3000 米	15	--	--

表 13.0.1-2 工作场所空气中粉尘容许浓度 (mg/m³)

中文名 CAS No.	TWA	STEL
白云石粉尘		
总尘	8	10
呼尘	4	8
沉淀 SiO ₂ (白炭黑)	5	10
(总尘)		

大理石粉尘		
总尘	8	10
呼尘	4	8
电焊烟尘（总尘）	4	6
沸石粉尘（总尘）	5	10
硅灰石粉尘（总尘）	5	10
硅藻土粉尘		
游离 SiO ₂ 含量<10%（总尘）	6	10
滑石粉尘（游离 SiO ₂ 含量<10%）		
总尘	3	4
呼尘	1	2
煤尘（游离 SiO ₂ 含量<10%）	4	
总尘	2.5	6
呼尘		3.5
膨润土粉尘（总尘）	6	10
石膏粉尘		
总尘	8	10
呼尘	4	8
石灰石粉尘		
总尘	8	10
呼尘	4	8
石墨粉尘		
总尘	4	6
呼尘	2	3
水泥粉尘（游离 SiO ₂ 含量<10%）		
总尘	4	6
呼尘	1.5	2
炭黑粉尘（总尘）	4	8
矽尘		
总尘		
含 10%~50%游离 SiO ₂ 的粉尘	1	2
含 10%~80%游离 SiO ₂ 粉尘	0.7	1.5
含 80%以上游离 SiO ₂ 粉尘	0.5	1.0
呼尘		
含 10%~50%游离 SiO ₂	0.7	1.0
含 50%~80%游离 SiO ₂	0.3	0.5
含 80%以上游离 SiO ₂	0.2	0.3
稀土粉尘（游离 SiO ₂ 含量 <10%）（总尘）	2.5	5
萤石混合性粉尘（总尘）	1	2
云母粉尘		
总尘	2	4

呼尘	1.5	3
珍珠岩粉尘		
总尘	8	10
呼尘	4	8
蛭石粉尘（总尘）	3	5
重晶石粉尘（总尘）	5	10
* 其他粉尘	8	10

注：

TWA	时间加权平均容许浓度（8 小时）。
MAC	最高容许浓度，指在一个工作日内任何时间都不应超过的浓度。
STEL	短时间接触容许浓度（15 分钟）。
*	其他粉尘：指不含有石棉且游离 SiO ₂ 含量低于 10%，不含有毒物质，尚未制订专项卫生标准的粉尘。
总粉尘	指直径为 40mm 的滤膜，按标准粉尘测定方法采样所得的粉尘。
呼尘	呼吸性粉尘，指按呼吸性粉尘采样方法所采集的可进入肺泡的粉尘粒子，其空气动力学直径均在 7.07 μm 以下，空气动力学直径 5 μm 粉尘粒子的采样效率为 50%。

4 有害气体和粉尘的测定方法应按《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》（GBZ 159）执行。

5 噪声不应大于 90dB。

6 隧道内气温不宜高于 28℃。

1 《缺氧危险作业安全规程》（GB 8958-2006）5.3.2 规定：在已确定为缺氧作业环境的作业场所，必须采取充分的通风换气措施，使该环境空气中氧含量在作业过程中始终保持在 19.5% 以上。严禁用纯氧进行通风换气。该规程的第 4 章将缺氧危险作业场所分为以下三类：a) 密闭设备：指船舱、贮罐、塔(釜)、烟道、沉箱及锅炉等。b) 地下有限空间：包括地下管道、地下室、地下仓库、地下工程、暗沟、隧道、涵洞、地坑、矿井、废井、地窖、污水池(井)、沼气池及化粪池等。c) 地上有限空间：包括酒糟池、发酵池、垃圾站、温室、冷库、粮仓、料仓等封闭空间。

2、3 是根据《工作场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2-2002）制定的。

5

卫生部、国家劳动总局《工业企业噪音卫生标准》规定：

第 5 条 工业企业的生产车间和作业场所的工作地点的噪声标准为 85dB，现有工业企业经过努力暂时达不到标准时，可适当放宽，但不得超过 90dB。

第 6 条 对每天接触噪声不到 8h 的工种，根据企业种类和条件，噪声标准可按说明表 14.0.1-1 相应放宽。

说明表 14.0.1-3 新建、扩建、改建企业允许噪声表

每个工作日接触噪音时间 (h)	允许噪音 (dB)
8	85
4	88
2	91
1	94
最高不超过 115dB	

据《工业交通环保概论》(86年 科技文献出版社)载有国际标准化组织 (ISO) 建议:

说明表 14.0.1-4 连续噪声等级允许标准

连续噪声暴露时间 (h)	8	4	2	1	1/2	最高限
允许等效连续声效 (dB)	85 ~ 90	88 ~ 93	91 ~ 96	94 ~ 99	97 ~ 102	115

本规范制定的噪声不大于 90dB, 是作为保持听力的标准(在这样的环境中, 10 年内的听力损失通常是不大的)。事实上, 隧道内施工机械产生的噪声可能超过 90dB, 应按《工业企业噪声卫生标准》第 6 条规定或参照国际标准化组织 (ISO) 建议办理, 执行中可在工作时间内或防务设备上给予劳动保护, 保障健康。

6

据国家煤矿安全监察局《煤矿安全规程》(2004 年) 第 102 条的规定: “生产矿井采掘工作面的空气温度不得超过 26℃; 机电设备硐室的空气温度不得超过 30℃。”

铁道部《铁路隧道施工规范》(TB10204—2002) 第 15.1.1 条规定: “隧道内气温不得超过 28℃。”

本规范规定: 隧道施工作业环境/卫生标准坑道内气温不宜高于 28℃。这是认为煤矿矿井巷道开挖面(采掘工作面)比单线铁路隧道开挖面小, 而双线铁路隧道的开挖断面与公路隧道开挖断面相差较小, 所以在隧道内空气温度的要求上, 公路隧道定为 28℃。

《煤矿安全规程》102 条又规定, “在超温地点的工作人员, 应缩短工作时间, 并给予高温保健待遇”。

13.0.2 瓦斯隧道装药爆破时, 爆破地点 20m 内风流中瓦斯浓度必须小于 1.0%; 总回风道风流中瓦斯浓度必须小于 0.75%; 开挖面瓦斯浓度大于 1.5%时, 所有人员必须撤至安全地点。

13.0.3 隧道施工独头掘进长度超过 150m 时, 必须采用机械通风。其通风方式应根据隧道长度、断面大小、施工方法、设备条件等综合确定。当主风流的风量不能满足隧道掘进要求时, 应设置局部通风系统, 并应尽量利用辅助坑道。通风方式可根据附录 K 选用。

通风方式根据坑道长度、施工方法和设备条件确定, 当风管较长、风压需要较高时, 可采用多台通风机串联, 在巷道式通风中, 无大功率通风机时, 可用数台风机并联。串联

或并联的通风机应采用同一型号,以便能充分发挥机械设备的能力。

13.0.4 隧道施工通风应能提供洞内各项作业所需要的最小风量。每人应供应新鲜空气 $3\text{m}^3/\text{min}$, 采用内燃机械作业时, 供风量不宜小于 $4.5\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{kw})$ 。全断面开挖时风速不应小于 0.15m/s , 导洞内不应小于 0.25m/s , 但均不应大于 6m/s 。

洞内施工所需通风量应根据洞内同时工作的最多人数所需要的空气量、或使同一时间爆破的最多炸药用量产生的有害气体降低到允许浓度所需要的空气量、或使同时在洞内作业的柴油机产生的有害气体稀释到允许浓度所需要的空气量、或满足洞内允许最小风速要求等条件进行计算确定。以其中最大者选择通风设备。

1 按洞内同时工作的最多人数计算风量

$$Q=qmK$$

式中: Q ——计算风量, m^3/min (下同);

q ——洞内每人每分钟所需新鲜空气量, m^3/min , 按每人每分钟 3m^3 计算 (围岩溢出有害气体时, 按每人每分钟 4m^3 计算);

m ——洞内同时工作的最多人数;

K ——风量备用系数, 取 $1.10 \sim 1.15$ 。

2 按满足洞内允许最小风速要求计算风量

$$Q=60sv$$

式中: s ——坑道断面积, m^2 ;

v ——允许最小风速, 导坑应不小于 0.25m/s , 全断面开挖时应不小于 0.15m/s , 但均不应大于 6m/s 。

3 按洞内同一时间内爆破使用的最多炸药用量计算风量

(1) 风管式通风

① 送风式通风

$$Q = \frac{7.8}{t} \sqrt{A(SL)^2}$$

式中: t ——通风时间, min ;

A ——1 次爆破的炸药用量, kg ;

S ——坑道断面积, m^2 ;

L ——通风区段长度, m 。

使用上述公式时, 若考虑的通风区段长度 L 大于极限长度 $L_{\text{极限}}$, 式中的 L 应该用 $L_{\text{极限}}$ 代替。 $L_{\text{极限}}$ 按下式确定:

$$L_{\text{极限}} = 0.1K' \frac{Ab}{Sc} = 500 \frac{K'A}{S}$$

式中: K' ——紊流扩散系数, $K' = 0.8$;

b ——爆破 1kg 炸药生成的 CO 量, $b=40\text{L/kg}$ 炸药;

c——坑道内容许的 CO 浓度, $c=0.008\%$;

其余符号意义同前。

②排风式通风

$$Q = \frac{18}{t} \sqrt{A \cdot S \cdot L_{\text{抛}}}$$

式中: $L_{\text{抛}}$ ——炮烟抛掷带长度, m;

火雷管起爆: $L_{\text{抛}}=15+A$ (m);

电雷管起爆: $L_{\text{抛}}=15+A/5$ (m)。

其余符号意义同前。

③混合式通风

$$Q_{\text{混送}} = \frac{7.83}{t} \sqrt{AV_L^2}$$

$$Q_{\text{混排}} = (1.2 \sim 1.3) Q_{\text{混送}}$$

式中: V_L ——吸风管口至工作面整段坑道的容积 (m^3),

$$V_L = LV \times S,$$

其中: LV ——吸风管口至工作面的距离 (m), 一般为 22~25m 左右。

(2) 巷道式通风

$$Q = \frac{5Ab}{t}$$

式中: A ——同时爆炸的炸药用量, kg;

b ——一公斤炸药爆破时所构成的一氧化碳体积 (L), 参见表 1, 计算时, 一般采用 $b=40L$;

t ——通风时间, min;

一公斤炸药产生有害气体统计 (L) 表 1

气体名称	防水硝铵炸药		2#岩石硝铵炸药		1#粒状硝化甘油		2#粒状硝化甘油	
CO	9.8	13.43	14.03	8.16	36.40	43.50	44.47	56.07
NO	2.97	3.04	3.57	3.89	0.73	0.37	0.49	0.69
换算为 CO 共计	29.11	33.19	37.24	33.45	41.50	45.41	47.66	50.56
平均	31.15		35.35		43.71		54.11	

注: 有害气体统一换算成 CO, 1L 的 NO 换算成 6.5L 的 CO。

4 按照爆破后稀释一氧化碳 (CO) 至许可最高浓度的计算风量

$$Q = \frac{5}{6} \times \frac{10 \cdot A \cdot K}{t} \times 60$$

式中: t ——通风时间, min;

A ——1 次爆破的炸药用量, kg;

K——风量备用系数, K=1.10;

5 按洞内使用内燃机的废气污染计算风量

稀释有害气体风量计算的基本公式:

$$Q = \frac{q \cdot c}{y} \cdot \eta = q \cdot \delta \cdot \eta$$

式中: q——柴油机废气排量 (m³/min),

$$\textcircled{1} \quad q = \frac{V \times n}{2} \cdot \beta$$

其中: V——汽缸的工作容积 (m³);

n——柴油机的转速;

β——吸气系数, 自然吸气 β=1; 齿轮增压 β=1.2;

$$\textcircled{2} \quad q = \frac{N \times K \times \alpha}{60}$$

其中: N——柴油机功率 (kW),

K——单位耗油量 (kg/(kWh)),

α——烧 1kg 柴油所需供应的空气量 (m³/kg), 可按 α=20.83 (m³/kg)

计算;

c——废气中有害气体浓度 (%);

y——有害气体最大允许浓度 (%);

δ——稀释系数 $\delta = \frac{c}{y}$;

η——安全系数 (1.5~2.5)。

以上①、②分别计算, 取其最大值。

6 高海拔地区的风量修正

由于高海拔地区的大气压力降低, 对总风量应按下式修正:

$$Q_{\text{高}} = \frac{760}{P_{\text{高}}} Q$$

式中: Q_高——高海拔地区大气压力, 见表 2;

Q——正常条件下计算的风量。

海拔高度与大气压力 (P_高) 的关系 表 2

海拔高度 (m)	1 600	2 000	2 600	3 000	3 200	3 400	3 600	3 800	4 000	4 400	5 000
大气压力 P _高 (kpa)	6 .119	5 .845	5 .423	5 .158	5 .031	4 .903	4 .776	4 .648	4 .531	4 .305	3 .972

7 竖井掘进通风量的计算

对于竖井爆破后的通风以送风式为佳, 当竖井深度超过 300m 时, 则应采用混合式通风。

$$Q = \frac{7.8}{t} \phi \sqrt[3]{A(SL)^2 K}$$

式中: t——通风时间, min;

A——1 次爆破的炸药用量, kg;

S——竖井断面积, m²;

L——竖井深度, m;

K——考虑竖井淋水使炮烟浓度降低的系数, 见表 3;

φ ——风管漏风系数, 见表 4。

竖井内炮烟浓度降低系数 (K 值) 表 3

级 别	巷道特征	系 数 K
1	工作面涌水在 1m ³ /h 以下的各种深度的干燥井筒以及深度不大于 200m 的含水井筒。巷道全长均穿过干燥岩石的井下倾斜巷道和水平巷道。	0.8
2	深度大于 200m, 有淋水, 工作面涌水量在 6m ³ /h 以下的含水井筒。巷道局部穿过含水岩石的井下倾斜巷道和水平巷道。	0.6
3	深度大于 200m 的含水井筒, 其淋水如淋雨般大, 工作面涌水量在 6~15m ³ /h 范围。巷道全长均穿过含水岩石或是采用水幕的倾斜巷道和水平巷道。	0.3
4	深度大于 200m 的含水井筒, 其淋水如下大雨, 工作面总涌水量大于 15m ³ /h。	0.15

竖井风管的漏风系数 (φ 值) 表 4

竖井深 度	风管直径 (mm)					
	500	600	700	800	900	1000
300	1.32	1.21	1.17	1.13	1.12	1.07
400	1.51	1.35	1.28	1.20	1.19	1.11
500	2.07	1.53	1.40	1.29	1.28	1.16
600	——	1.69	1.54	1.39	1.36	1.20
700	——	2.0	1.71	1.50	1.46	1.27
800	——	2.16	1.89	1.64	1.57	1.34
900	——	——	2.12	1.80	1.42	1.42
1000	——	——	2.34	1.96	1.82	1.46

13.0.5 通风管的安装应符合下列规定:

- 1 送风式的进风管口应设在洞外, 宜在洞口里程 30m 以外。
- 2 集中排风管口应设在洞外, 并应做成烟囱式。
- 3 通风管靠近开挖面的距离应根据开挖面大小确定, 送风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, 每 100m 平均漏风率不得大于 2%, 弯管半径不小于风管直径的 3 倍。

6 通风管应设置专人定期维护、修理, 如有破损, 必须及时修补或更换。当采用软管时, 靠近风机部分, 应采用加强型风管。

7 送风管宜采用软管, 排风管应采用硬管。

13.0.6 通风机的功率、风管的直径应根据隧道独头掘进长度、运输方式、断面大小和通风方式等计算确定。通风管应与风机配套, 同一管路的直径宜一致, 对长、大隧道宜选用大直径风管。当通风管较长, 需要提高风压时, 可采用多台通风机串联; 巷道式通风无大功率通风机时, 亦可采用数台通风机并联。串联与并联的通风机应采用同一型号。

13.0.7 通风机的安装与使用应符合下列规定:

- 1 主风机安装应符合通风设计要求。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%。
- 4 主风机应保持经常运转, 如需间歇时, 因停止供风而受影响的工作面必须停止工作。

13.0.8 隧道施工必须采用综合防尘措施并符合下列规定:

- 1 隧道施工应采取通风、洒水等防尘措施, 并按规定时间测定粉尘和有害气体的浓度。
- 2 钻眼作业应采用湿式凿岩, 当水源缺乏、容易冻结或岩性不适于湿式凿岩时, 可采用带有捕尘设备的干式凿岩, 采用防尘措施后应达到规定的粉尘浓度。
- 3 凿岩机钻眼时必须先送水后送风。
- 4 放炮后必须进行喷雾、洒水, 出渣前应用水淋湿石渣和附近的岩壁。
- 5 施工人员均应佩戴防尘口罩。

13.0.9 洞内施工环境检查:

- 1 应测试通风的风量、风速、风压, 检查通风设备的供风能力和动力消耗。
- 2 应检测粉尘的浓度, 测定方法应符合现行《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》(GBZ 159) 规定。

13.0.10 放射性地层隧道施工时应满足下列要求:

- 1 施工单位应建立有效的防辐射监测和监督制度, 严格控制无关人员进入隧道施工现

场。

2 现场施工人员必须穿戴防辐射衣具，工作场所应设置更衣室、淋浴室和污染监测装置。

3 不得在隧道内抽烟、吃饭、喝水，洞内施工人员应定期体检。

4 严格控制可能存在放射性的施工污染物排放和废弃，并应得到辐射防护和环境保护有关部门批准后方可排放和废弃。

5 隧道施工完成后，应对施工人员进行体检。对施工机械应经过去污使其污染水平达到现行《放射性污染的物料解控和场址开放的基本要求》(GBZ 167)的规定，方可确定为正常设备使用。

14 辅助坑道

14.1 一般规定

14.1.1 辅助坑道洞口的截、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。坑道口洞门应尽早建成。

14.1.2 辅助坑道开挖后应及时支护。

14.1.3 辅助坑道在施工期间，应制定防排水应急预案。

斜井、竖井要考机械排水，对涌水量的估算应更深入。排水设施及其供电应有冗余。

14.1.4 辅助坑道废弃时，应按设计规定及时处理。

13.1.1 隧道施工需要设置辅助坑道时，辅助坑道的类型、平面位置、断面尺寸、坡度、高程、支护类型和技术要求等应符合现行《公路隧道设计规范》(JTG D70)的有关规定。

13.1.2 辅助坑道施工时支护应符合下列规定：

- 1 辅助坑道宜采用喷锚支护。
- 2 斜井、竖井中的地质不良地段、井底调车场、作业洞室等处应按设计要求进行支护。
- 3 辅助坑道与正洞连接处，在开挖后应按设计要求及时支护。必要时可提前施工二次衬砌，在特殊情况下，应在开挖前采取超前支护措施。

13.1.3 设计无规定时，辅助坑道废弃应按下列方法处理：

- 1 横洞、平行导坑、斜井的洞口宜用浆砌片石封闭，无衬砌时封闭长度宜为 3~5m，有衬砌时封闭长度不宜小于 2m；竖井的井口宜用钢筋混凝土盖板封闭。
- 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；与隧道正洞连接处宜用浆砌片石封闭，其长度不宜小于 2m；竖井位于隧道顶部时，回填高度不应小于 10m。
- 3 横洞、平行导坑已进行衬砌或喷锚支护的地段以及无初期支护但围岩稳定的地段可不作处理，其余地段宜根据地质情况分段作必要的支护。
- 4 横洞和平行导坑封闭前应结合排水需要，先做暗沟，并应设置检查通道，竖井、斜井有水时，应将水引入隧道内排水沟。
- 5 辅助坑道封闭时应设置安全检查设施。

14.2 斜井

14.2.1 斜井开挖每一循环进尺应检测其高程并控制井身坡度；每隔 20~30m 应复核中线、高程。

14.2.2 斜井施工应严格按设计要求及时支护。倾角大于 30° 且地质条件较差的斜井衬砌，其墙基的末端应做成台阶形式。

14.2.3 轨道铺设的标准和要求除应按本规范 7.2.3 条的规定执行外，尚应符合下列规定：

- 1 每根钢轨应安装两组防爬设备，每对钢轨应有三根轨距拉杆。
- 2 两条钢轨顶面的高差不得超过 5mm，铺设双轨时，两股道上运行车辆之间的空隙不得小于 500mm。
- 3 运输轨道与两侧管道、电力线之间的安全距离(有人行横道者另计)不得小于 200mm，使用胶带运输机时不得小于 400mm。
- 4 托索轮及安全闸等轨道辅助设备应与轨道一并铺设。

14.2.4 斜井采用有轨运输时，应符合下列规定：

- 1 运输车辆升降的最大速度不得大于设计规定值。
- 2 提升绞车应有深度指示器及自动示警，并设有防过卷装置。
- 3 斜井的提升、连接装置和钢丝绳、绳卡应符合安全使用的要求，并应定期检查、上油保养。
- 4 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。
- 5 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。
- 6 运输斗车之间、斗车和钢丝绳之间应有可靠的连接装置，并加装保险绳。在斗车上、钢丝绳或车钩上要有防脱钩设备。
- 7 运输长材料时，必须有装卸及进出斜井的安全措施。
- 8 严禁人员乘斗车上下，当斜井垂直深度超过 50m 时，应有运送人员的专用设施。
- 9 斜井内应有足够的照明设施。

13.2.1 斜井开挖钻眼方向应与斜井倾角一致，底眼应比井底标高略低，避免出现台阶。

13.2.2 斜井的井口地段、不良地质或渗水地段、井底调车场、作业洞室，施工时应按设计要求加强支护，并应及时衬砌。

13.2.3 斜井采用无轨运输时，应满足设计要求，并符合现行《公路工程施工安全技术规

程 (JTJ 076) 中相关规定。

14.3 竖井

14.3.1 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 600mm。井口的锁口圈应在井身掘进前完成,并配备井盖。在升降人员或物料时,井盖方可开启。

14.3.2 竖井内应加强通风和排水。

14.3.3 竖井开挖钻爆作业除应符合本规范第 6 章有关规定外,还应符合下列规定:

- 1 钻眼前应先清除开挖面的石渣并排除积水。
- 2 每次爆破后应检测断面,不得欠挖。

14.3.4 竖井运输应符合下列规定:

- 1 通向井口的轨道应设阻车器。
- 2 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。必要时应设置直通电话。
- 3 提升机械不得超负荷运行,并应有深度指标器和防止过卷、超速等保护装置以及限速器和松绳信号等。
- 4 工作吊盘的载重量不应超过吊盘的设计载重能力。
- 5 提升吊桶所用钩头连接装置应牢固,不得自动脱钩,并应有缓转器。罐笼提升应设置可靠的防坠器。

6 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,应具有规定的安全系数,使用前应进行拉力试验,合格后方可使用。使用中应定期检查、修理和更换。

13.3.1 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。

13.3.2 竖井自上往下单行作业法施工应符合下列规定:

- 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、通风和排水。
- 3 提升出渣,灌筑井壁混凝土衬砌。

13.3.3 竖井开挖钻爆作业除应符合本细则第 6 章有关规定外,还应符合下列规定:

- 1 开挖宜采用直眼掏槽,当岩层倾斜较大且裂隙明显时,可用楔形或其他形式掏槽。有地下水时可采用立式梯台超前掏槽法。
- 2 炮孔钻完后,应将眼口临时堵塞。
- 3 每掘进 5~10m 应核对中线,及时纠正偏斜。

13.3.4 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他保证安全的措施。

13.3.5 竖井采用喷锚支护时,每次支护高度视围岩稳定程度而定。井口段、马头门及地质较差的井身地段宜采用钢筋混凝土衬砌,衬砌分节自下而上进行,并按需要设置壁座或安设锚杆。

14.4 横洞与平行导坑

14.4.1 横洞和平行导坑的开挖,应根据围岩级别、断面大小合理选用开挖方法,当其与正洞的距离小于 10m 时,应采用控制爆破技术。

14.4.2 平行导坑的掘进应超前于正洞。超前距离可视施工条件确定,宜大于两个临时横通道的间距。临时横通道间的距离应根据施工需要、正洞工程进度及地质情况确定。

14.4.3 平行导坑横通道的交叉口开挖应一次完成。

14.4.4 横洞和平行导坑都应设置完整通畅的排水系统。

13.4.1 平行导坑与正洞间横通道的位置应按设计设置,可根据实际情况调整。

13.4.2 横洞与平行导坑采用喷锚支护时,其断面型式宜采用拱形。

13.4.3 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。

15 辅助工程措施

15.1 一般规定

15.1.1 在浅埋、严重偏压、自稳性差的地段以及大面积淋水或涌水地段施工时，应按设计采用稳定地层和处理涌水的辅助工程措施。

15.1.2 辅助工程措施施工时应符合下列规定：

- 1 应做好相应的工序设计。
- 2 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。
- 3 应准备所需的材料及机具，制定有关的安全施工措施。
- 4 施工中应注意观察地形和降水、地质条件和地下水的变化以及量测数据的突变等情况，预防突然事故的发生。
- 5 做好详细的施工记录。

15.2 稳定地层措施

15.2.1 超前锚杆搭接长度应大于 1m。锚杆插入孔内的长度不得小于设计长度。

15.2.2 超前小导管直径应按设计要求选用和加工。长度应满足设计要求，纵向搭接长度应大于 0.5m。

15.2.3 超前管棚支护的长度和钢管外径应满足设计要求。纵向搭接长度应大于 3m。

15.2.4 超前预注浆施工应符合下列规定：

- 1 注浆段的长度应满足设计要求。
- 2 注浆管应根据设计要求选用。
- 3 注浆孔的布置角度及深度应符合设计要求。
- 4 注浆作业应满足下列要求：
 - 1) 注浆前应进行压水或压入稀浆试验，发现与设计不符时，应立即调整。
 - 2) 在涌水量大、压力高的地段钻孔时，应先设置带闸阀的孔口管；当掌子面围岩破碎时，应先设置止浆墙和孔口管。
 - 3) 分段注浆时，应设置止浆塞。
 - 4) 注浆过程中应做好施工记录。发现问题，应及时处理。

15.2.5 注浆机具设备应性能良好，满足使用要求。

15.2.6 对于隧道开挖后自稳性差的地段,应根据地层情况及量测数据,采用封闭开挖面、修筑临时仰拱等措施。

14.1.1 稳定开挖面、预防地表地层下沉可采用下列辅助工程措施:

- 1 超前锚杆支护。
- 2 超前小导管预注浆支护。
- 3 超前管棚支护。
- 4 超前预注浆。
- 5 地面砂浆锚杆。
- 6 地表注浆。
- 7 其他。

14.1.2 超前锚杆宜和钢架支撑配合使用,外插角宜为 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。锚杆长度宜为 3~3.5m,并应大于循环进尺的 2 倍。

14.1.3 超前小导管预注浆支护的钢管直径宜为 $\Phi 25 \sim 50\text{mm}$,并按设计要求进行加工。外插角宜小于 10° 。长度宜为 3~6m,纵向搭接长度应大于 0.5m。

14.1.4 超前管棚支护的钢管外径宜为 $\Phi 70 \sim 127\text{mm}$,钢管中心间距宜为管径的 2~3 倍。外插角宜为 $1^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。长度应大于 10m。

14.1.5 超前预注浆施工应符合下列规定:

- 1 注浆段的长度应满足设计要求,宜为 15~30m。
- 2 注浆管应根据设计要求选用相应规格的钢管加工或袖阀管。
- 3 注浆压力应根据岩性、施工条件等因素在现场试验确定。
- 4 注浆方式可选用前进式、后退式或全孔式。注浆顺序宜为先内圈孔,后外圈孔;先无水孔,后有水孔;从拱顶顺序向下进行。

5 注浆作业应满足下列要求:

- 1) 注浆前应进行压水或压入稀浆试验,判断地层的吸浆和扩散情况,确定浆液种类、浓度和注浆压力;发现与设计不符时,应立即调整。
- 2) 在涌水量大、压力高的地段钻孔时,应先设置带闸阀的孔口管,当出现大量涌水时,拔出钻具,关闭孔口管上的闸阀,做好准备后,进行注浆;当掌子面围岩破碎时,应先设置止浆墙和孔口管。孔口管埋入止浆墙深度应根据最大注浆压力而定;孔口管应为无缝钢管,直径不宜小于 $\Phi 90\text{mm}$ 。
- 3) 止浆塞应能承受注浆终压的要求。
- 4) 注浆施工记录应包括孔位、孔径、孔深、浆液配比、注浆压力、注浆量、跑浆、串浆等。

- 5) 浆液的浓度、胶凝时间应符合设计要求, 不得任意变更。
 - 6 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并稳定 10min, 且进浆速度小于开始进浆速度的 1/4, 或注浆量不小于设计注浆量的 80%。
 - 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。
 - 7 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。
- 14.1.6 注浆材料及浆液配合比应根据地质条件、注浆目的、注浆工艺等因素确定。
- 14.1.7 地面砂浆锚杆施工应符合下列规定:
- 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细则 7.3 节的有关规定执行。
- 14.1.8 地表注浆加固施工应满足下列要求:
- 1 注浆钢管宜垂直地表面或坡面设置。
 - 2 考虑到加固带的厚度, 钢管宜呈梅花型深浅不同错落布置。
 - 3 根据注浆设计、注浆工艺、地表特点及地下地质条件进行各种材料、设备和浆液配比选择和调整。
 - 4 合理的进行注浆施工组织, 制定严格的现场施工环境保护措施和预案, 防止注浆施工破坏和污染环境。
 - 5 其他要求参照 14.1.5 条的规定。
- 14.1.9 对于隧道开挖后自稳性差的地段, 应根据地层情况及量测数据, 采用 50~100mm 厚的早强混凝土封闭开挖面, 或采用型钢、喷射混凝土等修筑临时仰拱。
- 14.1.10 根据现场条件, 亦可选用水平旋喷桩法、冻结法、遮挡壁法、特殊钢背板顶进法、锚索法、钢筋混凝土灌注桩、树根桩等方法, 稳定地表地层。

15.3 处理涌水措施

- 15.3.1 隧道涌水处理应符合预防为主、疏堵结合、注重保护环境的原则。
- 15.3.2 采用超前预注浆堵水施工时, 应按本规范 15.2.4、15.2.5 的规定执行。
- 15.3.3 开挖后补注浆堵水施工应符合下列规定:
- 1 注浆范围应根据地质条件、涌水量、允许排放量、环保要求等因素确定。
 - 2 注浆类型应根据隧道开挖后的涌水规模及位置等因素选择。

15.3.4 超前钻孔排水施工应符合下列规定：

- 1 应根据工程地质与水文地质条件，以及地下水流的方向等因素，确定钻孔位置、方向、数目及每次钻进深度等。
- 2 钻孔时孔口应有保护装置。
- 3 应保证钻孔排出的水迅速排至洞外。

15.3.5 采用平行坑道排水时，平行导坑、横洞的底标高应低于正洞底标高。

15.3.6 井点降水的方法、设备应满足降水要求。降水过程中，应设水位观测井，及时测定动水位。

15.4 质量检验及标准

15.4.1 超前锚杆施工质量应符合表 15.4.1 规定。

表 15.4.1 超前锚杆质量标准

序号	项 目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	长度(m)	不小于设计	尺量：检查锚杆数的 10%
2	孔位(mm)	±50	尺量：检查锚杆数的 10%
3	钻孔深度(mm)	±50	尺量：检查锚杆数的 10%
4	孔径(mm)	符合设计要求	尺量：检查锚杆数的 10%

15.4.2 超前小导管注浆施工质量应符合表 15.4.2 规定。

表 15.4.2 超前小导管质量标准

序号	项 目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	长度(m)	不小于设计	尺量：检查 10%
2	孔位(mm)	±50	尺量：检查 10%
3	钻孔深度(mm)	±50	尺量：检查 10%
4	孔径(mm)	符合设计要求	尺量：检查 10%
5	注浆压力(MPa)	符合设计要求	压力表，全部检查

16 不良地质和特殊岩土地段施工

16.1 一般规定

16.1.1 不良地质和特殊岩土地段隧道施工前必须根据设计提供的工程及水文地质资料，结合现场实际情况，制定专项施工技术方案，并进行评审。施工技术方案应包括应急预案。

16.2 膨胀岩土

16.2.1 膨胀岩土隧道施工防排水应采用以防为主，防、截、堵、排相结合的原则。

16.2.2 应采取措施预防因分部开挖而引起围岩压力及偏压力增大。

16.2.3 初期支护应紧跟开挖尽快对围岩施加约束。

16.2.4 仰拱应尽早完成。

16.2.5 二次衬砌拱、墙应一次施工。衬砌应与围岩密贴。当衬砌混凝土强度达到设计要求时，方可拆模。

16.3 黄土

16.3.1 黄土隧道施工防排水应满足下列要求：

- 1 按设计做好洞顶、洞门及洞口的防排水系统，排水沟应进行铺砌，防止地表水下渗。
- 2 应在雨季前做好隧道洞门。
- 3 地层含水量大时，应及时排水，拱脚严禁被水浸泡。

16.3.2 黄土隧道开挖应符合下列规定：

- 1 施工中严格遵循“管超前、短进尺、强支护、早封闭、勤量测”的施工原则。
- 2 根据隧道开挖断面大小选择合理的开挖方法。墙脚、拱脚必须严格控制超欠挖。
- 3 基底承载力不足时，应按设计采取措施加固隧道基底。
- 4 施工中应加强量测和观察。发现不安全因素时，应暂停开挖，加强临时支护，调整施工方案。

16.3.3 黄土隧道初期支护施工应符合下列规定：

- 1 施工中应注意观察垂直节理，必要时应采取的措施，防止坍方事故发生。
- 2 开挖后应立即对隧道周边及掌子面进行喷射混凝土封闭，并及时施工其他初期支

护。

- 3 锚杆施工应采用干钻成孔，并采用早强材料锚固。
- 4 钢支撑锁脚锚杆（锚管）施工应满足设计要求。
- 5 不得在喷射混凝土前用水冲洗开挖面。

16.3.4 黄土隧道二次衬砌施工应符合下列规定：

- 1 仰拱应超前拱墙二次衬砌施工。
- 2 拱墙二次衬砌应整体灌注。

16.4 岩溶

16.4.1 岩溶地区隧道开挖应符合下列规定：

- 1 应采取综合超前地质预报措施查明施工面前方溶洞和水的情况。
- 2 岩溶段爆破开挖时，严格控制单段起爆药量和总装药量，控制爆破震动。
- 3 溶洞内不得任意抛填开挖弃渣。
- 4 应准备足够数量的排水设备。

16.4.2 隧道施工遇到溶洞时，其处理应符合下列规定：

1 岩溶地区隧道施工前，应依据设计文件结合现场情况核查溶洞的分布范围、类型、规模、充填物和地下水流情况等，按照“疏导、堵填、注浆加固、跨越、绕避、渲泄”等措施进行处理。

- 2 溶洞规模大，内部充填有大量泥砂，且含有丰富的地下水时，应预留安全止水岩墙。
- 3 采用回填方法处理溶洞时，不得阻断过水通道。

16.4.3 岩溶地区隧道支护和衬砌应按设计要求根据溶洞情况进行加强。二次衬砌施工前，应检查隧道周边围岩情况。

16.5 含水沙层

16.5.1 隧道通过含水沙层时，应调查其特性、规模，并制定处治方案。

16.5.2 含水沙层地段隧道开挖、支护应符合下列规定：

- 1 自上而下支护后开挖。
- 2 严格控制开挖长度，防止上部两侧不均匀下沉。
- 3 支护应及时，边挖边封闭，遇缝必堵，严防沙粒从支护缝隙中漏出。

- 4 应观测支护的实际沉落量,如预留量过大或不足,应在下一环节施工中及时调整。

16.5.3 含水沙层隧道的衬砌应仰拱先行,必要时,仰拱应紧跟开挖面,及时形成封闭的结构体系,并应采取措施防止沙土液化。

16.6 瓦斯

16.6.1 瓦斯隧道施工组织应符合下列规定:

- 1 成立负责通风、瓦斯检测、防治处理瓦斯爆炸和煤与瓦斯突出、救护等的专门机构。
- 2 设置灭火器、消防水池、消防用砂等消防设施。
- 3 对施工作业人员、管理人员进行安全培训。
- 4 制定防治瓦斯的专项施工方案并严格遵照执行。

16.6.2 瓦斯工区钻爆作业应符合下列规定:

1 工作面附近 20m 以内风流中瓦斯浓度必须小于 1%。必须采用湿式钻孔。炮眼深度不应小于 0.6m,炮眼最大抵抗线不得小于 0.3m。装药前炮眼应清除干净。

2 必须采用煤矿许用炸药和煤矿许用电雷管。高瓦斯工区必须采用安全等级不低于二级的煤矿许用炸药,有煤与瓦斯突出可能的地段必须采用安全等级不低于三级的煤矿许用炸药。严禁使用秒或半秒级电雷管。使用毫秒电雷管时,最后一段的延期时间不得大于 130ms。应采用连续装药方式,雷管安放在最后一节炸药中,严禁反向装药。

3 爆破网络必须采用串联连接方式,不得并联或串并联。

4 起爆电源必须使用防爆型起爆器,应安装在新鲜风流中,并与开挖面保持 200m 左右距离。同一开挖面不得同时使用两台及以上起爆器起爆。

5 炮眼封泥不严或不足不得进行爆破。严禁用煤粉、块状材料或其他可燃性材料作炮泥。

6 揭煤爆破 15min 后,应由救护队员配戴防毒面具或自救器到开挖工作面,查看爆破效果、检测瓦斯浓度、巡查通风及电路,如有煤尘超标、电路破损、通风死角、瞎炮残炮等危险情况必须立即处理,在确认安全后方可通知送电、开启局部风机。。通风 30min 后由瓦斯检测人员检测工作面、回风道瓦斯浓度。当瓦斯浓度小于 1%、二氧化碳浓度小于 1.5% 时,解除警戒,允许施工人员进入作业面。

16.6.3 半煤半岩段与全煤层段的支护、衬砌施工应符合下列规定:

- 1 在掘进过程中应按设计采用超前支护或预注浆, 防止坍塌或突出。
- 2 爆破后及时喷锚支护封闭瓦斯。
- 3 仰拱应及早施工, 保证拱、墙、仰拱衬砌形成闭合整体。
- 4 煤层地层设防段的二次衬砌应预留注浆孔, 衬砌完成后及时压浆, 充填空隙, 封闭瓦斯。

16.6.4 瓦斯隧道施工通风应符合下列规定:

- 1 编制全隧道和各工区的施工通风设计, 并考虑工区贯通后的风流调整和防爆要求。
- 2 应建立瓦斯通风、监控、检测的组织机构, 系统地测定瓦斯浓度、风量风速及气象等参数。
- 3 高瓦斯工区的施工通风宜采用巷道式。瓦斯隧道各掘进工作面必须独立通风, 严禁任何两个工作面之间串联通风。
- 4 按瓦斯绝对涌出量计算的风量, 应将洞内各处的瓦斯浓度稀释到 0.5% 以下; 巷道式通风的回风道内瓦斯浓度应小于 0.75%。
- 5 防止瓦斯聚积的风速不宜小于 1m/s。对瓦斯易于聚积处应实施局部通风。
- 6 施工期间应连续通风。因故障原因停风时, 必须撤出人员、切断电源。恢复通风前, 必须检测瓦斯浓度, 符合规定后才可启动机器。
- 7 瓦斯工区的通风机应设两路电源, 电源的切换应在 15min 内完成, 保证风机正常运转; 必须有一套同等性能备用通风机, 并保持良好的使用状态。
- 8 应采用抗静电、阻燃的风管。

16.6.5 隧道内应采用便携式瓦检仪检测瓦斯。高瓦斯工区和瓦斯突出工区还应配置高浓度瓦检仪和瓦斯自动检测报警断电装置。

16.6.6 隧道内瓦斯浓度限制值及超限处理措施应符合表 16.6.6 规定。

表 16.6.6 隧道内瓦斯浓度限制值及超限处理措施

序号	地点	限值	超限处理措施
1	低瓦斯工区任意处	0.5%	超限处 20m 范围内立即停工, 查明原因, 加强通风监测
2	局部瓦斯积聚 (体积大于 0.5m ³)	2.0%	附近 20m 停工, 撤人, 断电, 进行处理, 加强通风
3	开挖工作面风流中	1.0%	停止电钻钻孔
4	煤层爆破后工作面风流	1.0%	继续通风不得进入
5	局部通风机及电器开关 20m 范围内	0.5%	停机并不得启动
6	钻孔排放瓦斯时回流中	1.5%	撤人, 停电, 调整风量

7	竣工后洞内任何处	0.5%	查明渗漏点, 向设计方反映, 增加运营通风设备
---	----------	------	-------------------------

16.6.7 瓦斯隧道施工必须采取下列防爆安全措施:

- 1 高瓦斯工区和瓦斯突出工区供电应配置两套电源, 工区内采用双电源线路, 其电源线上不得分接隧道以外的任何负荷。
- 2 高瓦斯工区和瓦斯突出工区必须采用安全防爆型机电设备, 非瓦斯工区和低瓦斯工区的行走机械严禁驶入高瓦斯工区和瓦斯突出工区。
- 3 严禁火源进洞。任何人员进入隧道前必须在洞口外进行登记并接受检查; 进入高瓦斯工区和瓦斯突出工区的作业人员必须携带个人自救器。
- 4 铲装石渣前必须将石渣浇湿, 防止摩擦和碰击火花。
- 5 通风用的风筒、风道、风门和风墙等设施, 必须保持密闭, 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。

16.6.8 含煤地层钻爆作业遇有下列情况之一者, 未经妥善处理前严禁装药或放炮:

- 1 放炮地点附近 20m 以内风流中, 瓦斯浓度达到或超过 1% 时;
- 2 在放炮地点 20m 以内, 有未清除的碎石、煤渣、装载设备及其他物体阻塞隧道断面三分之一以上时;
- 3 隧道内通风风量不够, 风向不稳或局部有循环风时;
- 4 炮眼内有异状, 温度骤高、骤低, 煤岩松散或有显著瓦斯涌出时;
- 5 炮眼内煤岩粉末未清除干净时;
- 6 无炮泥、封泥不足或不严的炮眼。

16.6.9 发生瓦斯事故时, 应立即启动应急预案。

16.7 岩爆

16.7.1 隧道施工有可能发生岩爆时, 应遵循以防为主、防治结合的原则。应进行岩爆事前的预测预报, 针对开挖面前方可能发生的岩爆, 及时采取施工对策, 事后仔细研究岩爆规律, 制定出后续施工的对策并逐步改进。

16.7.2 岩爆隧道施工应采取防范岩爆发生措施, 并符合下列规定:

- 1 开挖宜短进尺循环, 每循环进尺宜控制在 1.0~2.0m 以内。
- 2 采用光面爆破技术, 隧道开挖断面周壁宜圆顺。
- 3 对岩爆强烈的开挖面, 按设计施工超前锚杆锁定前方围岩。

- 4 拱部及边墙按设计布置预防岩爆锚杆。

16.7.3 隧道施工中发生岩爆时, 应立即采取下列措施:

- 1 停机待避。
- 2 每循环内对暴露的岩面找顶 2~3 次。
- 3 采用受力及时的摩擦型锚杆、喷射 50~80mm 厚的钢纤维混凝土, 进行支护。
- 4 台车、装渣机械、运输车辆加装防护钢板。注意避免岩爆伤及人员、砸坏施工设备, 必要时人机撤至安全地段。
- 5 采取技术措施释放围岩内部应力。

16.8 富水软弱破碎围岩

16.8.1 富水软弱破碎围岩隧道开挖应符合下列规定:

- 1 应提前了解开挖面前方的地质、地下水情况。
- 2 可排水施工的隧道段, 采用超前钻孔排水。
- 3 不宜排水施工的隧道地段, 应按设计采取堵水措施。
- 4 开挖每一循环进尺宜为 0.5~1.0m。

16.8.2 富水软弱破碎围岩施工应根据支护位移量测结果, 及时调整支护参数。

16.8.3 富水软弱破碎围岩隧道防排水系统施工应符合下列规定:

- 1 衬砌混凝土应按设计要求的防水等级施工, 施工缝、变形缝应作防水处理。
- 2 铺设防水板前应完成设计要求的止水注浆, 严禁在已铺设防水板范围内压浆。

16.8.4 富水软弱破碎围岩隧道衬砌施工应符合下列规定:

- 1 仰拱应超前施工, 尽早与支护构成封闭结构。
- 2 二次衬砌应根据监控量测结果确定施工时间, 全断面浇筑。
- 3 整体式衬砌施工应紧跟开挖工序, 及时封闭。

17 隧道路面施工

17.0.1 隧道路面施工应根据隧道内施工作业环境特点编制单项施工组织设计，并制定应急预案。

17.0.2 隧道路面施工除应按设计要求组织施工外，还应符合现行《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30)、《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)及《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80)的有关规定。隧道进、出口外 50m 范围内路基、路面基层和路面的施工方法和技术要求，应与洞内施工相协调。

17.0.3 隧道路面施工应设置满足施工需要的照明系统。

17.0.4 隧道路面施工前应进行试验段铺筑。

17.0.5 隧道路面施工过程中，隧道内必须保持良好通风。

17.0.6 隧道路面施工宜在排水系统施工完成后进行，施工过程应确保排水设施完好，排水畅通。

17.0.7 路床和基层应结合隧道的仰拱填充和底板浇筑进行，施工质量符合设计要求。

17.0.8 水泥混凝土路面强度未达到设计要求前，不得开放交通。

16.0.1 隧道路面施工进洞的各类施工机械与车辆，应选用带净化装置的柴油机动力，汽油动力机械不宜进洞。

16.0.2 隧道路面施工应设置满足施工需要的照明系统。

16.0.3 隧道路面试验段长度宜为 150~200m。

16.0.4 隧道路面施工过程中，隧道内必须保持良好通风。采取防火措施，制定切实可行的消防和疏散预案。

16.0.5 隧道采用复合式路面时，沥青混凝土罩面层宜在水泥混凝土路面达到设计强度的 80% 以后铺筑。铺筑前应清洗水泥混凝土表面，干后喷洒黏层油后再铺筑。

16.0.6 隧道内路面施工应符合下列规定：

- 1 结构密实、路面平整、达到设计强度，并且有良好的耐久性、抗磨耗性和抗滑性。
- 2 不透水、抗水性好，路面排水系统完好。
- 3 抗腐蚀性能力强、漫反射率高、颜色明亮、易修补。

- 4 严寒地区的隧道路面，其表面应保证有足够的粗糙度。
- 5 隧道内的路面应充分满足设计的纵坡要求，路面平整度满足设计要求。

16.0.7 隧道内铺筑水泥混凝土路面应符合下列规定：

- 1 混凝土路面接缝的制作、传力杆的设置以及填缝料的填筑必须满足设计要求，做到接缝平整、传力效果好、不透水。
- 2 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。
- 3 隧道内水泥混凝土路面宜采用横向刻槽或纵向刻槽，在曲线路段可使用纵向刻槽。
- 4 水泥混凝土路面强度未达到设计要求前，不得开放交通。

16.0.8 隧道内铺筑沥青路面时应符合下列规定：

- 1 各种施工机械应符合隧道净空的要求，选用宽度较窄的摊铺机铺筑，运料车应能完全卸料，具有足够的行车通道。
- 2 对隧道底部的地下水应采取疏导方式，设置完善的排水系统。

16.0.9 应通过试验路段的铺筑确定阻燃沥青路面的施工工艺参数。

16.0.10 隧道内铺筑复合式路面时，应符合下列规定：

- 1 沥青混凝土罩面层宜在水泥混凝土路面达到设计强度的 80% 后铺筑。沥青混凝土罩面层的施工应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 的有关规定。
- 2 在沥青罩面层和水泥混凝土面板之间宜设置粘结层和防水层。粘结层和防水层的施工应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 的有关规定。
- 3 隧道内沥青面层应具有良好的抗滑性能、良好的阻燃性和有利于光电照明的反光特性。

与洞外路面施工的不同主要在于：

- 1、施工空间狭小。
- 2、有通风压力。
- 3、有照明压力。
- 4、一旦发生火灾，救援和灭火困难，烟害甚至大于火灾。

18 附属设施工程

18.1 设备洞、横通道及其他

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

18.1.2 各类洞室及横通道与正洞联接地段, 支护应按设计予以加强。

18.1.3 设备洞、横通道及其他各类洞室的永久性防、排水工程, 应与正洞一次同时完成。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。

18.1.4 电缆槽的施工应符合下列规定: 一次完成和成一条

1 电缆槽开挖应与边墙基础开挖同时进行, 不得在边墙灌筑后再爆破开挖。

2 电缆槽壁与边墙应联接牢固, 必要时可加设短筋。

3 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。

18.1.5 隧道内吊顶隔板的施工应符合下列规定:

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

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, 吊顶隔板不得产生下挠度; 上下表面应光洁平整。接缝处应严密, 不得漏风和渗水。

5 在隧道衬砌设置沉降缝处, 隔板应相应设置横向沉降缝。

6 吊顶拉杆露出混凝土隔板的部分应镀锌或涂防锈漆。

18.1.6 洞口遮光棚框架混凝土表面应光洁、美观, 不应有蜂窝、麻面。

17.1.1 消防洞、设备洞、车行或人行横通道及其他各类洞室设置应满足设计要求。当原定位置地质条件不良时, 施工单位应会同监理、设计及建设单位根据实际情况调整。

17.1.2 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, 宜在正洞掘进至其位置时, 将该处一次挖成。

17.1.3 设备洞及横通道等处的施工宜采用喷锚支护, 必要时应增设钢架支撑。支护应紧

跟开挖。与正洞联接地段，支护应予以加强。

17.1.4 衬砌施工应符合下列规定：

1 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。该处的衬砌应与正洞衬砌一次同时完成。

2 复查防、排水工程的质量。防、排水工程符合设计要求后，方可进行二次衬砌施工。

3 衬砌中各类预埋管件、预留孔、槽及边墙内的各类洞室应按设计位置定位；宜尽早落实各种附属设施之间以及它们与排水系统之间有无冲突，如有冲突，应会同有关方面尽早解决。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。灌注混凝土时应确保各类预埋管件、预留孔、槽不产生移位。

17.1.5 洞口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。

18.2 装饰工程

18.2.1 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施工，并符合现行《建筑装饰工程施工及验收规范》GB 50210 有关规定。

18.2.2 装饰工程应符合下列规定：

1 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。

2 各类洞室的防护门应开启方便，严密、防火、隔热。

3 洞室应有标明洞室名称的标牌。

17.2.1 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。

17.2.2 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 对于壁面粘贴装饰，应将装饰作业的表面清洗干净并做好基层。

3 对采用的装饰材料应进行装饰试验，并检查装饰敷设和喷涂的质量、颜色以及与基层的粘结牢固程度。

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；各种钢材应调直、调平后下料加工成所需的形状，且不得产生裂纹，并按国家标准现行《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定与要求办理，所有构件应涂防锈漆。

17.2.3 装饰工程施工应符合下列规定：

- 1 洞口装饰应表面平整、清洁，隧道铭牌字样应美观、醒目，符合国家相关规定。
- 2 采用面砖材料时，应作到横、竖缝通直。面砖贴好后，外表面应平整、牢固、美观，不得出现凹凸。不允许背后有空响。
- 3 采用防火隔热涂料时，其施工方法和要求，应按该材料的使用说明书进行。
- 4 采用一般内墙涂料时，色彩应符合设计要求。涂料可采用喷涂或粉刷，但应作到色调均匀，不得出现色斑和杂色。
- 5 离壁式装饰工程应按设计要求制作。

18.3 预埋件及其他

18.3.1 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柱孔眼。螺栓埋设时，灌浆应密实，螺栓应与机座面垂直。

18.3.2 蓄水池的施工应符合下列规定：。

- 1 蓄水池混凝土浇筑应做到外光内实，无渗漏。
- 2 在混凝土达到设计强度后，应进行闭水试验。
- 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。

18.3.3 水泵基础应稳固可靠，并按设计要求埋设水泵地脚螺栓或预留孔位。

18.3.4 管道工程施工应满足下列要求：

- 1 沟槽开挖遇有管道、电缆或其他结构物时，应妥善保护并及时与相关单位协商处理。
- 2 沟槽开挖后，应及时铺管，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。接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符合设计规定。
- 7 压力管道应进行压力试验。

18.3.5 安装工程所用各种预埋件应按设计进行防锈蚀处理。

在结构、定位精度上满足附属设施设计的要求。

19 交工验收

19.0.1 隧道工程施工完毕并满足以下要求后，应进行工程的交工验收。

1. 全部施工现场已做到了工完场清
2. 施工范围内的测量控制网点, 导线点、水准点已恢复, 并满足精度要求
3. 已按交通部《公路工程竣（交）工验收办法》有关规定的要求, 准备好了完整、齐全
的交工验收资料
4. 施工单位已按《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1) 的要求进行自检评定,
并提供了交验申请。

19.0.2 交验完成后, 应及时办理交验手续。

附录 A 水泥混凝土抗压强度评定

A.0.1 评定水泥混凝土的抗压强度,应以标准养生 28d 龄期的试件为准。试件为边长 150mm 的立方体。试件 3 件为 1 组,制取组数应符合下列规定:

- 1 不同强度等级及不同配合比的混凝土应在浇筑地点或拌合地点分别随机制取试件。
- 2 一般体积的结构物,每一单元结构物应制取 2 组。
- 3 连续浇筑大体积结构时,每 80~200m³或每一工作班应制取 2 组。
- 4 可根据施工需要,另制取与结构物同条件养生的试件,作为拆模的强度依据。
- 5 喷射混凝土每作业循环至少在拱部和边墙各制取 1 组。

A.0.2 水泥混凝土抗压强度的合格标准

- 1 试件 ≥ 10 组时,应以数理统计方法按下述条件评定:

$$R_n - K_1 S_n \geq 0.9R$$

$$R_{\min} \geq K_2 R$$

式中: n —同批混凝土试件组数;

R_n —同批 n 组试件强度的平均值(MPa);

S_n —同批 n 组试件强度的标准差(MPa);

R —混凝土设计强度等级(MPa);

R_{\min} — n 组试件中强度最低一组的值(MPa);

K_1 、 K_2 —合格判定系数,见附表 A.0.2。

表 A.0.2 K_1 、 K_2 的值

n	10~14	15~24	≥ 25
K_1	1.70	1.65	1.60
K_2	0.9	0.85	

- 2 试件 < 10 组时,可用非统计方法按下述条件进行评定:

$$R_n \geq 1.15R$$

$$R_{\min} \geq 0.95R$$

附录 B 水泥砂浆强度评定

B.0.1 评定水泥砂浆强度，应以标准养生 28d 龄期的试件为准。试件为边长 70.7mm 立方体。试件 6 件为 1 组，制取组数应符合下列规定：

1 不同强度等级及不同配合比的水泥砂浆应在浇筑地点或拌合地点分别随机制取试件。

2 重要及主体砌筑物，每一工作班应制取 2 组。

3 一般及次要砌筑物，每一工作班可制取 1 组。

B.0.2 水泥砂浆强度的合格标准

1 同强度等级的平均强度不低于设计强度等级。

2 任意一组试件的强度最低值不低于设计强度等级的 75%。

附录 C 喷锚支护的试验和测定方法

C.0.1 喷射混凝土强度检查试件的制作方法

1 喷大板切割法

在施工的同时,将混凝土喷射在 $450\text{mm} \times 350\text{mm} \times 120\text{mm}$ (可制成 6 块) 或 $450\text{mm} \times 200\text{mm} \times 120\text{mm}$ (可制成 3 块) 的模型内,在混凝土达到一定强度后,加工成 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试块,在标准条件养护至 28d 进行试验 (精确到 0.1MPa)。

2 凿方切割法

在具有一定强度的支护上,用凿岩机打密排钻孔,取出长约 350mm、宽约 150mm 的混凝土块,加工成 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试块,在标准条件下养护至 28d,进行试验 (精确到 0.1MPa)。

C.0.2 喷射混凝土强度检查试件的制取组数

试件 3 件为 1 组。双车道隧道每 10 延米,至少在拱部和边墙各制取 1 组试件。其他工程,每喷射 $50\text{m}^3 \sim 100\text{m}^3$ 混合料或小于 50m^3 混合料的独立工程,不得少于 1 组。材料或配合比变更时应重新制取试件。

C.0.3 喷射混凝土抗压强度的合格标准

1 试件组数不少于 10 组时,试件抗压强度平均值不低于设计值,且任一组试件抗压强度不低于 0.85 倍的设计值。

2 试件组数少于 10 组时,试件抗压强度平均值不低于 1.05 倍的设计值,且任一组试件抗压强度不低于 0.9 倍的设计值。

C.0.4 喷射混凝土与岩面粘结力的试验方法如下:

1 成型试验法

在模型内放置面积为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times$ 厚 50mm 且表面粗糙度近似于实际情况的岩块,用喷射混凝土掩埋。在混凝土达到一定强度后,加工成 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试块,在标准条件下养护至 28d,用劈裂法进行试验。

2 直接拉拔法

在围岩表面预先设置带有丝扣和加力板的拉杆,用喷射混凝土将加力板埋入,喷层厚度约为 100mm,试件面积约为 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ (周围多余的部分应予清除)。经 28d 养护,进行拉拔试验。

C.0.5 喷射混凝土实际配合比、水灰比的测定方法如下:

1 测定步骤:

- 1) 从受喷面上采取一块刚喷好的混凝土, 迅速称出质量各为 3000g 的两部分。
- 2) 将第一份混凝土放在瓷盘里, 在烘箱中以 105~110℃烘至恒重。由烘干前后的质量, 算出喷射混凝土中可烘干水的质量。
- 3) 在取样的同时, 用 400g 水泥及施工相同掺量的速凝剂, 加 160g 水(水灰比为 0.4), 迅速拌制一份净浆, 与第一份混凝土在相同条件下烘至恒重。由烘干前后的质量, 算出不可烘干水的质量与水泥质量的比率(即不可烘干水率)。
- 4) 将第二份混凝土放入盛有 6~8kg 水的桶中, 立即搅散开, 使水泥、速凝剂、砂石分离, 仔细淘洗清除水泥、速凝剂和粒径小于 0.15mm 的细粉。将砂、石在烘箱中以 105~110℃烘至恒重, 筛分并称出质量。
- 5) 根据式 (C.0.5) 算出的水泥质量, 即可求出喷射混凝土的实际配合比和水灰比。

$$\text{水泥质量} = 3000 - \frac{(\text{砂质量} + \text{石质量} + \text{可烘干水质量})}{1 + \text{速凝剂参量} + \text{不可烘干水率}} \quad (\text{C.0.5})$$

注: 式中各项材料质量以克计, 要求精确到 0.1g, 速凝剂掺量和不可烘干水率均以水泥质量的百分比表示; 水质量为可烘干水质量与不可烘干水质量之和。

2 测定注意事项:

- 1) 采取试样、称质量、拌制净浆以及第二份试样在水中搅散开, 均应在尽可能短的时间内完成, 最迟不得超过 5min。
- 2) 第二份试样在淘洗时, 每次倒污水都要经过 0.15mm 孔径的筛。
- 3) 计算时, 砂、石中小于 0.15mm 的细粉, 应按原材料中的比例计入砂、石质量中, 水泥、速凝剂中大于 0.15mm 的颗粒, 也应按原材料的比例计入水泥、速凝剂质量中。

C.0.6 锚杆拉拔力的试验方法如下:

拉拔力试验应在现场实际工点进行。试验时注意事项:

- 1 应保险拉力计(或千斤顶)与锚杆外露部分平行。
- 2 加力时, 应匀速缓慢。
- 3 拉力计(或千斤顶)应固定牢固, 并有安全保护设施。

附录 D 爆破成缝试验方法

光面爆破参数的成缝试验方法如下所示。

D.0.1 试验目的

确定周边眼的装药量、装药结构、堵塞长度和炮眼间距等。

D.0.2 试验步骤

- 1 核对隧道地质情况。
- 2 选择与隧道实际地质条件相似的洞内或露天试验场。
- 3 按施工要求确定炮眼深度。
- 4 单孔爆破成缝试验。

单孔爆破成缝试验前，可先参照表 D.0.2-1 初选单装药量、装药集中度及装药结构等。

表 D.0.2-1 光面爆破参数

参数 岩石种类	饱和单轴抗压极限强度 R _b (MPa)	装药不偶合系数 D	周边眼间距 E (mm)	周边眼最小抵抗线 V (mm)	相对距 E/V	周边眼装药集中度 (kg/m)
硬岩	>60	1.25~1.50	550~700	700~850	0.8~1.0	0.30~0.35
中硬岩	30~60	1.50~2.00	450~600	600~750	0.8~1.0	0.20~0.30
软岩	≤30	2.00~2.50	300~500	400~600	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 号岩石硝铵炸药考虑，当采用其他炸药时，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 按式 D.0.2 计算：

$$K = \frac{1}{2} \left(\frac{2\text{号岩石炸药猛度}}{\text{换算炸药猛度}} + \frac{2\text{号岩石炸药爆力}}{\text{换算炸药爆力}} \right) \quad (\text{D.0.2})$$

单孔试验时，通过调整装药量、装药结构、堵塞长度等，直到爆破后孔口只出现裂缝不产生爆破漏斗为止。此时装药深度即为实际的临界深度（装药重心至孔口距离）。

5 预裂爆破试验

根据单孔爆破成缝试验，参考装药结构和表 D.0.2-2 的药量，初选炮眼间距，进行排孔爆破成缝试验，直到不出现爆破漏斗，只出现孔间贯通裂缝为止（缝宽一般应为 5~10mm）。

表 D.0.2-2 预裂爆破参数

参数 岩石种类	饱和单轴抗压极限强度 R _b (MPa)	装药不偶合系数 D	周边眼间距 E (cm)	周边眼至内圈崩落眼间距 (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	1.4~2.0	30~40	30	0.09~0.19

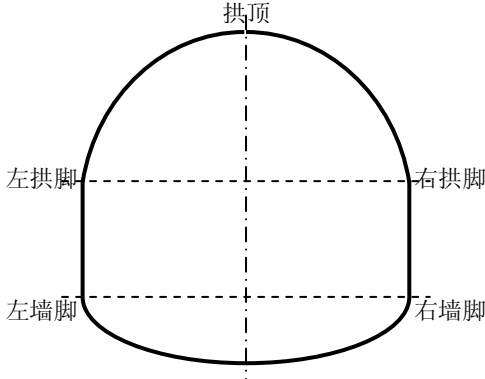
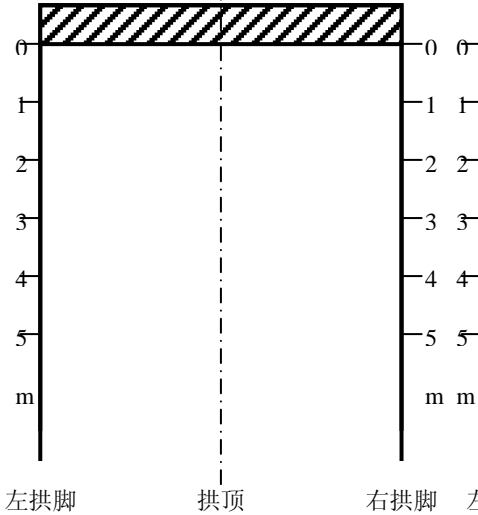
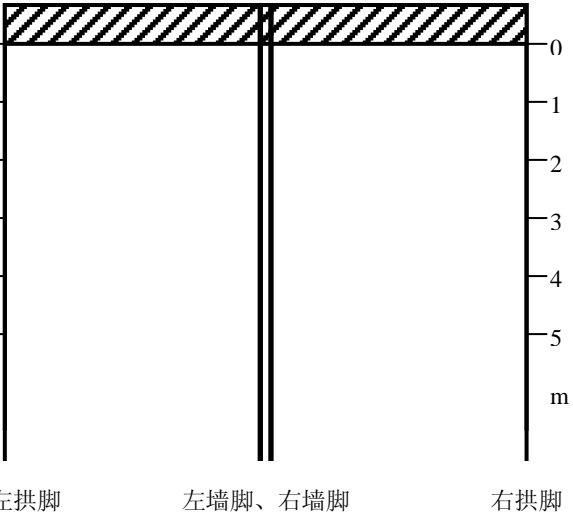
6 光面爆破试验

根据排孔爆破得出的炮眼间距 E ，参照表 D. 0. 2-1 中的相对距离 E/V ，定出不同的抵抗线 V ，进行试验，得出最小抵抗线 V 值。

7 根据以上试验得出的 V 、 q 、 E/V 各值，在洞内进行试爆，再次调整各值，得出最佳参数供实际使用。

附录 E 隧道地质素描图

表 E 隧道地质素描图

工程名称: _____	素 描 编 号 : _____
掌子面里程: _____	地质素描人员 _____ 时间 _____
开挖 (爆破时间) _____	技术负责人 _____ 时间 _____
<div></div>	现象描述 (偏帮现象、岩暴现象、渗水涌水状态, 发生时间等):
<div><div><div>拱顶地质素描</div><div></div></div><div><div>侧面地质素描</div><div></div></div><p>图形容描: 断层、节理的位置、走向倾向; 溶洞、空洞、采空区的位置; 坍方位置、大小; 偏帮部位; 岩爆部位; 渗水涌水的位置等。</p></div>	

本规范用词说明

对执行规范条文严格程度的用词，采用以下写法：

1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

附件

中华人民共和国行业标准
公路隧道施工技术规范
(JTG F60-2009)

条文说明

1 总则

1.0.1 《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042-94)颁布以来,我国公路交通建设迅猛发展,公路山岭隧道的工程建设项目规模越来越大,特别是高速公路的长大隧道及特长隧道竣工项目甚多,一方面积累了大量的施工新技术、新设备、新材料的丰富经验,并不断提高,另一方面原规范有些内容已不适应公路隧道施工技术的发展。因此结合《公路隧道设计规范》修订,为了推动公路隧道施工技术水平的不断提高,通过本规范的修订,更进一步在新的技术水平上规范技术和质量标准,保证工程质量,使隧道施工符合技术先进、生产安全、环境保护、经济合理的要求。

1.0.3~1.0.8 主要从法律法规、施工安全、质量标准、环境保护、职业健康、文明施工等方面做出了明确规定。

1.0.10 有关标准、规范的现行版本主要有:

- 1 《公路隧道设计规范》JTG D70-2004
- 2 《公路勘测规范》JTG C10-2007
- 3 《公路勘测细则》JTG/T C10-2007
- 4 《爆破安全规程》GB 6722-2003
- 5 《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086-2001
- 6 《地下工程防水技术规范》GB 50108-2001
- 7 《公路水泥混凝土路面施工技术规范》JTG F30-2003
- 8 《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40-2004
- 9 《公路工程集料试验规程》JTG E42-2005
- 10 《公路工程质量检验评定标准》(土建工程)及(机电工程)JTG F80/1-2004 及 JTG F80/2-2004
- 11 《建筑装饰工程施工及验收规范》GB 50210-2001
- 12 《公路路线设计规范》JTG D20-2006
- 13 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268-1997
- 14 《公路工程竣(交)工验收办法》
- 15 《放射性污染的物料解控和场址开放的基本要求》GBZ 167-2005
- 16 《煤矿安全规程》
- 17 《通用硅酸盐水泥》GB 175-2007
- 18 《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG E30-2005

- 19 《混凝土外加剂》 GB 8076-1997
 - 20 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119-2003
 - 21 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 (GB/T 1596-2005)
 - 22 《粉煤灰混凝土应用技术规范》 GBJ 146-1990
 - 23 《建设工程施工现场供用电安全规范》 GB 50194-1993
 - 24 《用电安全导则》 GB/T 13869-2008
 - 25 《电力建设安全工作规程》 DL 5009
 - 26 《缺氧危险作业安全规程》 GB 8958-2006
 - 27 《工作场所有害因素职业接触限值》 GBZ 2
 - 28 《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》 GBZ 159-2004
- 使用时应注意确认其有效性。

3 施工准备

3.1 一般规定

3.1.1 调查研究是做好隧道工程施工准备工作的前提, 为了强调施工的科学、系统, 避免盲目施工, 做出本条规定。

通常, 公路隧道控制全线工期, 因此要求先行开工, 其施工组织安排常独立进行。为了对工期、工程费用、施工方法及安全生产等做出计划, 施工前必须做好调查研究。

核对设计文件是施工前的一项重要工作, 应予以重视并切实做好。

3.1.2 在调查研究, 核对设计文件, 线路测量复查等工作基础上编制实施性施工组织设计, 并以此作为隧道施工的依据。

3.1.3 工地试验室是控制工程质量的临时试验机构, 承担工程项目施工所必须的标准试验 (即配合比试验)、原材料试验以及施工过程中的试验及检测工作, 应通过政府相关部门的验收, 取得满足施工要求的临时试验资质。由于混凝土配合比的试配试验需对混凝土试件进行 28d 的标准养护, 因此, 为不影响施工工期, 隧道开工前, 应提前做好混凝土配合比报送监理批准。

3.1.5 施工过程中, 应完整地积累资料、数据, 做好每道工序的原始记录, 它们都是交竣工时的重要资料。

1 原始记录包括以下内容:

- 1) 工程地质和水文地质的实际情况资料。
- 2) 变更设计项目、内容、原因及编号。
- 3) 隐蔽工程作业、坍方、涌水等的发生状况及其处理情况。
- 4) 砼喷层、衬砌、变形、开裂的观测记录、原因分析和处理情况。
- 5) 测量成果。
- 6) 围岩、支护、衬砌、位移、应力的量测数据, 锚杆拉拔试验。
- 7) 工程材料使用情况、试件的检测结果。
- 8) 推广和研究新技术等情况及结果。
- 9) 施工日志。
- 10) 其他需要记录的资料。

2 交竣工文件, 按交通运输部制定的文件内容执行。

3.2 施工场地与临时工程

3.2.2 弃渣场地压缩甚至堵塞河道、沟谷，造成排水泄洪不畅，危害很大；挤压桥梁墩台及其他建筑物会危及其安全。弃渣场堆的边坡应作防护。

弃渣场地要选择占地、伐树、拆迁等补偿费用低廉，且出渣运输方便、距离最短的地点，其场地容量应容纳隧道弃渣。在风景区和住宅规划区，以及保护林和防砂地带弃渣方法等均受到限制，因此要进行详尽的现场调查。

3.2.4 洞口场地一般比较狭窄，房屋布置受到很大限制，为了保障施工安全，特作此规定。

3.3 施工人员、材料和设备

3.3.1、3.3.2 为防止技术事故和机械破损，减少原材料损耗，提高工效，确保施工安全和质量，隧道施工前应对员工进行技术交底和培训。对引进国外的先进设备，应配备专职人员操作和维修，必要时还可请厂方派员协助培训，组装和操作示范。

公路隧道施工技术交底的具体内容有：隧道设计图纸、隧道施工技术规范、隧道工程验收标准、各项工序作业指导书；隧道施工图纸、施工方案、施工程序和施工方法及质量要求；隧道施工操作规程、安全技术措施、施工定额和施工进度等。

应定期组织员工开展岗位技能培训，学习有关规范、标准和操作规程。

3.3.3 为确保工程施工进度，控制好工程质量，隧道开工前，应根据施工进度计划备足工程所需的各种材料，并按设计文件所列的各种材料做好试验工作，为提早进洞创造条件。本章列出此条以强调其重要性。

4 施工测量

4.0.1 测量方案设计时，平面和高程控制测量等级应按现行《公路勘测规范》(JTG C10)选定，贯通中误差影响值可参照现行《公路勘测细则》(JTG/T C10)确定，贯通长度超过9公里时，可以根据工程需要选定贯通极限误差限值。

4.0.2 施工前对设计交桩进行复测，是管理上的需要，也是施工的需要。

4.0.3 防爆措施有两种，一是采用防爆型测量仪器，二是加强通风和检测，保证测量仪器周围20米以内瓦斯等可燃气体的浓度低于允许值。

4.0.6 调线地段的长度越短，贯通误差引起的偏角越大，调整后的中线偏离原中线越远，对可能的扩大开挖、凿除支护的要求越大；另外，调整段太短，可能会造成增设曲线的长度及曲线间夹直线长度不能满足规范要求，降低线路标准；用导线法调整时，单位长度上分担的偏角过大。因此调整段的长度不宜小于200m。说明表4.0.6给出了贯通误差为限差，调整段为200m时的部分调整参数。有些情况曲线长度偏短，可通过增大半径，或减小调线长度从而增大偏角来调整。

说明表 4.0.6 贯通误差调整调线参数示例表

相向开挖总长度 (km)	<3	> 3
限差 (mm)	150	200
调线长 (m)	200	200
偏角	2' 35"	3' 26"
ϵ	8"	10"
半径 (m)	30000	30000
曲线长 (m)	22	30
外矢距 (mm)	2	4
夹直线长 (m)	178	170

注： ϵ 为用导线法调整贯通误差时，每10m隧道分担的贯通误差偏角。

4.0.8 测量方案设计和作业，宜参照现行《公路勘测细则》(JTG/T C10)进行。

5 洞口、明洞与浅埋段工程

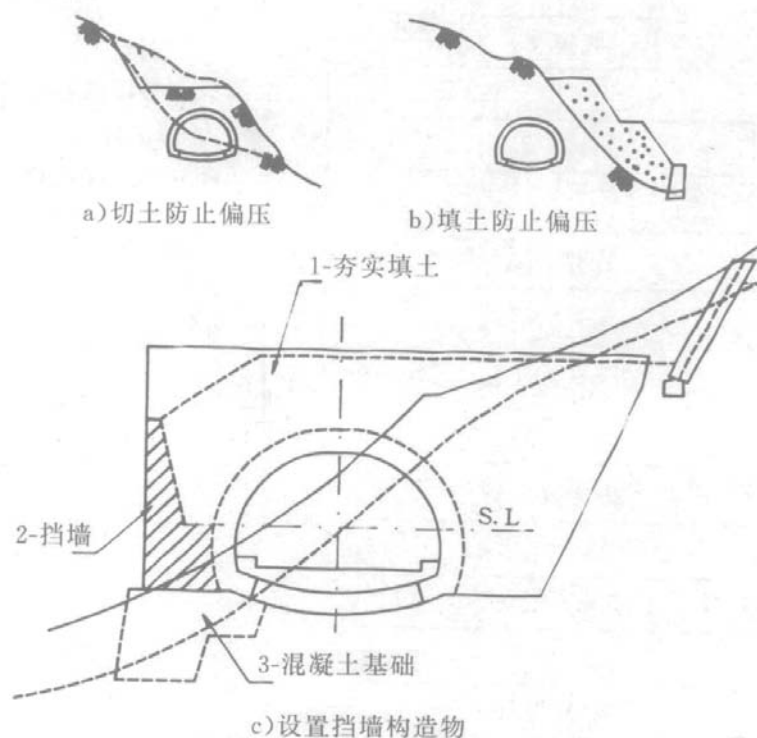
5.1 洞口工程

5.1.3 洞口段通常地质条件不良，围岩稳定性较差，地表易塌陷，因此，对洞口段应做相应处理。由于隧道的地形、地质及线路位置的不同，要很明确的规定洞口段的范围是比较困难的，在一般情况下，可以将由于隧道开挖给仰坡可能造成不良影响的洞口范围称为洞口段。

隧道洞口施工遇到地层滑坡、崩塌、偏压以及泥石流、雪崩等自然现象时，应采取措施治理(可参照说明表 5.1.3)。偏压防止措施示意图 5.1.3。

说明表 5.1.3 洞口自然灾害及处治措施

灾害现象	问题点	主要措施
滑坡	由于洞口挖方破坏了原坡面的平衡状态，导致滑坡；在原地层滑坡线上开挖，导致出现新的滑坡	地表锚杆、注浆桩、深基桩、挡墙、土袋等
崩塌落石	在陡坡山崖处开挖，即使围岩条件较好也极可能出现崩塌或落石	喷射混凝土、地表锚杆、锚索、防落石棚、化学药液注浆
偏压	由于地形的非对称性，作用在隧道横断面上的荷载不平衡，加大隧道结构上的压力，导致结构剪切破坏	平衡压重填土、护坡挡墙、挖切土体，减轻偏压力
泥石流	泥石流的冲击力极大，多从沟谷冲下，危害结构物安全	沿沟谷设梯级防沙坝
雪崩	与泥石流同样具有极大冲击力，多发生在沟谷或陡坡处	沿沟谷设梯级坝，洞口顶部设防护棚



说明图 5.1.3 偏压防止措施示意图

5.2 明洞工程

5.2.6 明洞回填施工要求

明洞回填分墙背回填和拱背回填两个部位。由于其作用不同因而工艺的要求也不同：

(1) 墙背回填的作用主要是使边墙与围岩密贴。当围岩较稳定时，一般自墙顶起坡开挖，墙背可挖垂直或较陡的坡度；当围岩稳定性较差，采用先拱后墙法施工，边墙是开挖马口灌筑。两者的墙背空隙都不大，可用与边墙相同的材料同时灌筑或用浆砌片石回填。

(2) 拱背回填主要是缓和边坡落石和坍塌的冲击及排除坡面水的作用。根据不同类型的明洞和棚洞设计各有具体规定。本条提出不宜过早采用机械回填是为了保证拱圈质量和安全。

5.3 洞口浅埋段工程

5.3.1 本条第 1 款所述不应采用全断面法开挖，是考虑到公路隧道属大断面隧道，如果采用全断面爆破开挖，对围岩的扰动大，会导致全周壁围岩出现松弛，增大塌方的可能性，且支护结构难以及时施作，并增大隧道造价，所以提出此规定。《公路隧道施工技术规范》

(JTJ 042-94) 中规定本条规定为“严禁采用全断面开挖”，考虑到断面小，围岩条件很好，可以有效控制爆破震动，并且支护能力很强、可以迅速形成有效支护的情况，保证安全时可以考虑使用全断面法，此次修订本条改为“不应采用全断面法开挖”。

6 开挖

6.1 一般规定

6.1.2 开挖作业规定了 5 款,其目的是保证施工质量和安全以及核对地质条件并把握围岩稳定情况。根据围岩地质和监控量测反馈信息,及时修正施工方法和支护参数是隧道施工重要原则之一。本条第 3、第 4 款的规定,是为保证原始地质资料和监测量测数据真实性而规定的。

6.1.3 岩石隧道爆破,应采用光面爆破技术,其目的是为了使隧道开挖断面尽可能地符合设计轮廓线,减轻对围岩的扰动,减少超、欠挖。

6.1.4 爆破作业存在若干危险因素,如果管理不慎,将会给国家和人民生命财产带来重大损失,因此,本条文规定爆破作业及火药物品的管理必须遵守国家标准的有关规定。

6.1.5 隧道双向开挖接近贯通时,开挖面岩体已较薄,不管是从围岩稳定还是从安全等角度考虑,都应采取浅眼轻药弱爆破,并变双向开挖为单向开挖。条文中所提“15~30m 的距离”,是根据国发(1982)30 号文《关于发布矿山安全条例和安全监察条例的通知》有关条文确定的。

6.2 开挖方法

6.2.2 台阶法按上台阶超前长度分为长台阶法(台长 50m 以上)、短台阶法(台长 5~50m)和微台阶法(台长 3~5m)三种。

采用长台阶法时,上下部可配属同类较大型机械平行作业,当机械不足时也可交替作业,当遇短隧道时,可将上部断面全部挖通后,再挖下半断面。该法施工干扰较少,可进行单工序作业。

短台阶或微台阶二种方法可缩短仰拱封闭时间,改善初期支护受力条件,但施工干扰较大,当遇软弱围岩时需慎重考虑,必要时应采用辅助开挖措施稳定开挖面,以保证施工安全。

6.3 超欠挖控制

6.3.1 开挖应按设计要求作业，原则上不应欠挖。但在完整的硬岩及中硬岩层中开挖时，由于岩面硬度较大，往往造成个别部位欠挖，如采取补炮，则势必造成较大的超挖，浪费工料，且二次扰动围岩。故本条文规定了不影响衬砌设计要求和质量的欠挖限值。但拱墙脚以上 1m 内衬砌断面不得减薄，因此，本条文规定“严禁欠挖”。

6.3.2 隧道开挖总不免会有超挖。超挖量随岩质、裂缝状况、开挖方式和方法等而异。超挖过多，不仅因出渣量和衬砌量增多而提高工程造价，而且由于局部挖掉围岩会产生应力集中问题，因此应尽量减少超挖量。

表 6.3.2 规定的“允许超挖值”，其中拱部允许超挖值比边墙、仰拱、隧底较大，是考虑到拱部钻眼方向难于掌握，故稍稍放宽。不同类别的围岩中，拱部的允许超挖值规定稍有不同，是考虑到围岩的完整性及软弱性不同。

6.3.3 隧道周边围岩变形量不仅随围岩类别、水文地质和隧道宽度不同而异，而且与施工方法、初期支护、辅助施工措施等密切相关，因此施工中应根据本隧道现场监测数据及时调整下一段同类围岩的预留变形量，以防止实际变形量超过预留量时影响二次衬砌厚度或造成侵入限界，同时也避免因预留变形过大而造成二次衬砌厚度过大或增加回填量等现象。

6.4 钻爆

6.4.1 为了避免隧道超欠挖和达到预期循环进尺，全断面开挖和台阶开挖应有完整的钻爆设计文件，以便在每次爆破后分析比较，及时修正钻爆参数，提高爆破效果，改进技术经济指标。分部开挖的导坑与扩洞时的周边眼钻爆设计也非常必要。钻爆设计文件力求简明易懂，以能指导钻爆工正确执行钻爆设计。

7 出渣与运输

7.1 一般规定

7.1.4、7.1.5 这两条为保证出渣与运输的安全、环保而制定的。运输车辆的性能必须良好才能保证洞内运输线路的畅通。车辆的驾驶应有专门的管理规定，诸如车辆运行时鸣笛或按喇叭；注意了望；非专职人员严禁开车、调车或搭车，有轨运输时严禁在运行中摘挂斗车等等。为减少洞内空气污染，应严格控制汽油机进洞。

7.1.6 爆破器材的运输应符合现行《民用爆炸物品安全管理条例》（国务院令 466 号）、《公路工程施工安全技术规程》（JTJ 076）及其他相关规定。

7.2 出渣运输

7.2.3 有轨式运输线路铺设标准和要求，是根据近年来隧道施工常用的机械设备和洞内运输条件综合考虑规定的。

7.3 装渣与卸渣

7.3.2 装渣作业规定是为保证装渣的安全及提高轨式装渣速度而制定的。

隧道在开挖爆破后，围岩受到不同程度的扰动，因此，在进行装渣作业前必须进行围岩稳定性检查，处理危石，排除拒爆残药，规范装渣，确保装渣作业安全。

采用有轨式装渣机械装渣时宜优先采用梭式斗车，集转载、运输、卸载为一体，可大大提高出渣效率。如立爪式装渣机等等，是近几年来发展的生产能力高、连续装渣设备，与大容量梭式矿车匹配，使装渣连续进行，可缩短出渣运输循环作业时间。

8 支护与衬砌

8.1 一般规定

8.1.2 本条是对隧道衬砌施工的总体要求。进行隧道衬砌（包括喷锚衬砌）施工时，中线、标高，隧道开挖断面形状、几何尺寸必须满足设计要求。除测量精度必须符合要求外，还应事先考虑施工误差，超欠挖控制。否则，将影响衬砌厚度、隧道净空。对复合式衬砌，初期支护完成后，应再次检查内空尺寸，保证二次衬砌的厚度。有条件时应采用激光断面仪精确测量。

8.1.3 工程材料是否合格是施工质量和工程安全的基本保障，必须满足设计和规范要求。

8.1.4 做好隧道衬砌施工过程中各工序施工的记录，是运营后养护、维修的重要依据，也是计量支付、竣工决算的重要依据。

8.2 喷射混凝土

8.2.3 喷射混凝土作业的基本要求：

1 一次喷射混凝土厚度要适当，过薄则粗集料不易粘结牢固，增加回弹量；过厚则由于混凝土自重下坠，影响混凝土与岩面的粘结力，不易保证喷层致密。

2 喷混凝土分层作业时，在前一层混凝土终凝后才能进行下一层喷混凝土作业，避免对前一层喷混凝土造成损害。两层时间间隔较长时，表面已蒙上粉尘，受喷面应用风、水吹洗干净。岩面有较大凹洼时，应结合初喷找平。

3 由于砂石料中含有一定的水分，掺入速凝剂后的混合料，若停放时间过长，水泥易发生预水化，这不仅影响混凝土的速凝效果，使回弹增多，而且还会造成混凝土后期强度的明显降低。

4 喷射混凝土回弹物，已经发生水化作用，混凝土已凝固，不得重新用作喷射混凝土材料，只能作废料处理。

5 喷嘴垂直岩面时，喷射效果最好，斜向喷射时，易产生分离、回弹增加、剥离多。喷射距离应以冲击速度和附着强度为最佳状态的条件确定。一般情况下湿喷为 1.5~2.0m。喷射压力是影响喷射混凝土粉尘量和回弹率的重要因素之一，风压宜保持在 0.1MPa 左右。近几年来工程上出现了一种怪现象，当出现超挖，承包人为了节省喷射混凝土量，在设有

钢架的超挖地段，填塞木板、包装袋、片石等作为受喷面，使初期支护与围岩脱离，初期支护不能与围岩共同工作，实际上形成了不与围岩共同工作的整体式衬砌，这是非常危险的。

8.3 锚杆

8.3.1 锚杆种类选择应符合设计要求。作为永久锚杆，砂浆的饱满程度是确保锚杆安装质量的关键，孔内砂浆不饱满密实，影响锚固效果，必须保证锚杆孔内注满砂浆，保证全长粘结效果。

8.4 钢筋网

8.4.1、8.4.2

- 1 钢筋网钢筋和其他用途的钢筋一样，要求调直、除锈、去油污。
- 2 钢筋网钢筋直径不宜过大，钢筋网要求随岩面凹凸起伏敷设，小直径容易敷设。从受力角度考虑能满足要求。
- 3 采用双层钢筋网时，应要保持两层网之间有一定的距离。更好地发挥两层钢筋网的作用，所以，第二层钢筋网必须在第一层钢筋网被喷混凝土全部覆盖后进行铺挂。
- 4 钢筋需要一定的搭接长度，与“混凝土结构规范”要求一致。
- 5 钢筋网每个交叉点都应进行焊接或绑扎。
- 6 钢筋网应与锚杆或临时锚杆连接牢固，在喷射混凝土时不得晃动。

8.5 钢架

8.5.1 目前使用的钢架主要有：格栅钢架和型钢钢架。型钢钢架是热弯或冷弯加工而成，具有刚度大、承受能力强，能及时受力的特点，在软弱破碎围岩中、需采用超前支护的围岩地段或处理坍方时使用较多。但型钢钢架与喷混凝土粘结不好，与围岩间的空隙难于用喷射混凝土紧密充填，由于型钢两侧喷混凝土被型钢隔离，导致钢架附近喷射混凝土出现裂缝。格栅钢架是由普通钢筋通过焊接加工而成，它与型钢架相比，有受力好、质量轻、刚度可调节、省钢材、易制造、易安装，钢架两侧喷混凝土能连成整体、相互依靠等优点，应大力推广使用。

8.7 模筑混凝土衬砌

8.7.10 本条是根据《公路工程混凝土结构防腐技术规范》(JTG/T B07-01-2006)制定的。

8.7.12 强度试验表明,在混凝土强度达到 5.0MPa 时,拆模对混凝土表面和棱角不致损坏;二次衬砌不承重时,其厚度小、自重轻,当混凝土达到 5.0MPa 时,两车道隧道可承受其自重;三车道隧道、四车道隧道如设计没有特殊要求也可参照执行,但应将第一环浇筑的混凝土作为试验段。

8.7.14 防水抗渗有较高要求时,混凝土配合比和集料级配应经试验决定,必要时还可使用防水水泥或掺加密实性外加剂。设计中有明确规定时按设计要求办理。冬季施工时应掺加气剂,降低水灰比。常用的加气剂有:热聚松脂皂(又称松香热聚物)、普通松脂皂、石油磺酸、烷基磺酸钠、脂肪醇硫酸钠等,掺量一般为 0.0075%~0.015%,并应符合现行《混凝土外加剂》(GB 8076)和《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》的要求。

8.8 仰拱和底板

8.8.2 为确保底板整体稳定宜采用一次灌注混凝土成型工艺。当底板混凝土半幅浇筑时,应做好接缝处防水处理。

8.8.3 仰拱填充材料应符合设计要求。仰拱填充应在仰拱混凝土达到设计强度的 70%后施工,不得在施工中为了减少工序采取了仰拱同仰拱填充采用同一强度等级混凝土一次灌注方法,这样不仅加大了成本而且改变了隧道衬砌的受力状态,在仰拱与边墙界面处因仰拱(连同填充)刚度变化过大,产生较大的应力集中,成为受力的薄弱环节。

9 小净距隧道及连拱隧道

9.1 小净距隧道

9.1.2

1 小净距隧道的爆破应进行专门设计, 并进行现场爆破试验, 根据现场测试结果, 严格控制爆破震动速度, 尽量减少后行洞的爆破开挖对中岩柱(墙)及先行洞的震动影响。常用的爆破方法是光面微差爆破, 采用预裂爆破可有效降低爆破震动的传播。选用尽量小的最大段装药量, 采用低威力、低爆速炸药, 用小直径药卷不偶合装药, 可以减小爆破震动。

9.1.3 及时施作初期支护, 及时封闭成环, 是控制围岩变形的有效手段, 对控制中岩柱(墙)变形尤为重要。

9.2 连拱隧道

9.2.1 无论是直中墙还是曲中墙的双连拱隧道, 目前的开挖方法均分为两大类: 一是以按两个独立单洞考虑的开挖法, 另一类则是先挖导洞再修建中墙的开挖法, 目前国内绝大多数双连拱隧道的设计与施工都是按照先挖导洞修建中墙考虑的连拱结构。在具体的工程运用中开挖的实际步骤有多有少、开挖的先后顺序不一, 开挖方法可分成四小类, 分别为“中导洞-双侧壁三导洞开挖法”、“中导洞-正洞台阶开挖法”、“中导洞-两侧下导洞开挖法”和“先左洞后右洞开挖法”。

1 计算表明, 连拱隧道主洞开挖时, 后开挖主洞与中隔墙之间不回填时, 中隔墙的变形远大于回填时的情况。因此在双连拱隧道施工时, 为了有效地抑制中隔墙的变形, 后开挖一侧的中隔墙和主洞之间的空隙宜回填密实或做好支撑。

2 中隔墙浇筑后的开挖爆破, 应注意以下问题。一是选用尽量小的最大段装药量, 采用低威力、低爆速炸药, 减小爆破震动对中隔墙的影响。一是已经开挖的中导洞对主洞开挖爆破来说是一个临空面, 而这个临空面正对着中隔墙, 如果爆破方案的最小抵抗线方向指向该临空面, 则飞石会对中隔墙造成极大伤害, 这一点在爆破设计时应当避免。另外, 为降低飞石对中隔墙的破坏, 宜对中隔墙采取必要的保护措施, 如沙袋、竹排、废旧轮胎、

橡胶等。

9.2.3 采用马口跳槽开挖时,为了防止侧墙开挖过程中由于控制不严易引起上拱部产生大的沉降,导致上拱部开裂坍塌等不良情况的发生,做出此条规定,同时还要注意不能使侧墙开挖工作缝与上拱开挖后初期支护的工作缝在同一断面上。

10 监控量测

10.1 一般规定

10.1.2 我国公路隧道的设计和施工越来越多地采用新奥法。为了掌握施工中围岩稳定程度与支护受力、变形的力学动态或信息,以判断设计、施工的安全与经济,隧道开挖后应按照设计要求和现场实际情况立即布点并进行监测,应及时将监测数据和意见建议提交给设计、施工等单位,从而达到反馈设计、指导施工的目的。

10.2 量测内容与方法

10.2.1、10.2.2 现场监控量测应根据设计要求、隧道横断面形状和断面大小、埋深、围岩条件、周边环境条件、支护类型和参数、施工方法等来选择测试项目。

现场量测项目分为必测项目和选测项目两大类。

表 10.2.1 为必测项目。必测项目是为了在设计、施工中确保围岩稳定,并通过判断围岩的稳定性来指导设计、施工的经常性量测。这类量测通常测试方式简单,费用少,可靠性高,但对监视围岩稳定、指导设计施工却有巨大作用。

表 10.2.2 为选测项目。选测项目是对一些有特殊意义和具有代表性意义的区段以及试验区段进行补充测试,以求更深入地掌握围岩的稳定状态与锚喷支护的效果,具有指导未开挖区的设计与施工。这类量测项目测试较为麻烦,量测项目较多,花费较大,一般只根据需要进行选择其部分项目。

锚杆抗拔力试验属于质量检测的内容,因此没有将其列入监控量测项目内。

10.3 量测数据处理与应用

10.3.2 量测数据及回归分析结果为施工决策提供了依据,在施工过程中,应根据量测数据处理结果,调整和优化施工方案及工艺,如有必要,应及时向有关单位提出变更设计建议。

10.3.3 由于岩体结构的复杂性和多样性,围岩稳定性的判断比较复杂,方法也比较多,主要有理论分析法、数值计算和经验类比方法等。

围岩稳定性判断是一项很复杂也是非常重要的工作,必须结合具体工程情况,根据所测得的位移量或回归分析所得的最终位移量、位移速度及其变化趋势、隧道埋深、开挖断面大小、围岩等级、支护所受的压力、应力应变等进行综合分析判断。

11 防水和排水

11.1 一般规定

11.1.2 防水混凝土包括普通防水混凝土、外加剂防水混凝土或掺合料防水混凝土、膨胀水泥防水混凝土。普通防水混凝土是以调整配合比的方法提高混凝土的密实性和抗渗性;外加剂防水混凝土是在混凝土拌合物中加入少量改善混凝土抗渗性的有机或无机物,如减水剂、防水剂、引气剂等外加剂;掺合料防水混凝土是在混凝土拌合物中加入少量的硅粉、磨细矿粉、粉煤灰等无机物,以增加混凝土的密实性和抗渗性;膨胀水泥防水混凝土是利用膨胀水泥在水化硬化过程中形成大量体积增大的结晶,主要是改善混凝土的孔结构,提高其抗渗性能。富水地区隧道衬砌应优先选用防水混凝土,提高衬砌自身的防水能力。对防水板、止水条、止水带的连接部位要采用符合设计及规范要求的方法妥善处理,防止出现渗漏水。

防水隔离层在隧道防排水系统中的作用至关重要,应特别重视,做到妥善施工、严格检查。

11.1.3、11.1.4 隧道工程防排水材料应符合国家、行业标准,满足设计要求,经实践检验质量和性能可靠的,方可使用。隧道防排水施工,尤其在注浆堵水施工中要注意注浆材料的选用,严禁使用有毒和污染环境材料,排水盲管(沟)、土工布、防水层、止水条、止水带、背衬材料、嵌缝材料等在长期使用中也不允许有毒物质滤出。

施工排水应进行处理,符合排放标准,不得污染环境。保护环境是我国的基本国策,隧道防排水施工必须遵守《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国水污染防治法》和《中华人民共和国环境保护法》。考虑到隧道工程施工中的废水排放会对周围生态环境造成不利影响,因此隧道施工必须从选择施工方法材料等方面事先考虑其对周围环境的影响程度,防治水土流失和水体污染,改善生态环境。并有针对性地采取措施,使对周围生态环境的影响减至最小。隧道开挖后影响农田灌溉和人民生活用水的例子很多。如京通线桃山隧道

开挖后, 导致附近一座水库(水量 30000m³)干涸, 山上村庄 13 户农民断绝生活水源, 为此赔款 29 万元; 襄渝线中梁山隧道, 隧道开挖后, 影响山顶几百户居民生活用水及农田灌溉, 赔款近百万元。目前处理这类地表水, 教训多于经验, 因而条文只原则性提出“采取防污染和防其他公害的措施”。具体措施需通过实践不断总结。

11.2 施工防排水

11.2.2 隧道治水, 及早处理地表水是非常重要的一环。特别是隧道覆盖层薄和渗透性强的地层应在进洞前先期处理。

11.2.3 隧道施工, 无论顺坡排水或反坡排水都要求隧底无水漫流, 工作面不积水, 以免软化隧底, 降低地基承载力。软弱围岩地段, 水对隧道的影响更大, 可根据需要对水沟加以铺砌或用管槽代替。

11.2.6 地下工程施工期间, 必须做好周围环境的排水和降低地下水水位的工作。本条明确规定地下水位要求降低至基底开挖线 0.5m 以下。目前井点降水已被广泛应用于第四纪富水地层隧道施工中。20 世纪 90 年代末通过北京地铁等工程开发研究成功。

11.2.8 布置超前钻孔是防止高压涌水危害的措施。为达到较好的效果, 对工程地质和水文地质作详细的调查分析, 确切判明地下水流方向, 然后准确布置钻孔位置、方向、数目和每次钻进深度。并应有防涌水的安全措施; 如: (1)非施工人员一律撤出危险区; (2)隧道如系下坡掘进, 应估计水量大小, 备足抽水设备; (3)在钻孔口预先埋管设阀, 控制排水量, 以防止承压水冲击及淹没坑道等意外险情发生。如钻孔钻到预期的深度尚未出水, 可会同设计部门进一步进行地质和水文的勘测工作, 重新判定。隧道通过含水地层, 若补给水量大, 应在隧道附近先挖泄水洞截流排水。

11.2.9 寒冷地区, 尤其是严寒地区, 隧道排水设施应注意埋设深度和保温措施, 以利于防冻。隧道施工中临时排水设施, 其位置、深度及配套设施等, 宜与永久性排水工程相结合, 以减少工程量, 降低造价。洞外其他临时设施, 也应按本条规定组织施工。常用的保温材料有矿渣、沥青玻璃棉、矿渣棉、石棉瓦等。为使保温材料不受潮还应有防潮措施, 如用沥青玻璃布包裹, 用水泥砂浆或沥青涂抹等。

11.3 防排水结构施工

11.3.2 规定了各种原材料的计量标准,避免由于计量不准确或偏差过大而影响混凝土配合比的准确性,确保混凝土的匀质性、抗渗性和强度等技术性能。

拌合物坍落度的大小,对拌合物施工性及硬化后混凝土的抗渗性和强度有直接影响,因此加强坍落度的检测和控制是十分必要的。

由于混凝土输送条件和运距的不同,掺入外加剂后引起混凝土的坍落度损失也会不同。规定了坍落度允许偏差,减少和消除上述各种不利因素影响,保证混凝土具有良好的施工性。

11.3.9 安装挡头板前,可以先加工矩形木条,其宽度与止水条相同,其厚度为止水条的厚度一半。安装挡头板时,将木条安装在止水条的位置,该环混凝土浇筑完成后,拆模,剔除木条,就做成了止水条的预留槽。

11.4 注浆防水

11.4.2 隧道的初期支护一般为永久性结构,长期的渗水将减弱其结构强度,此外为了保证二次衬砌的施工质量,也必须对初期支护大面积渗漏水进行治理。

初期支护背后的空隙是储存水的空间也是过水通道,初期支护注浆止水首先要进行背后充填注浆,回填空隙。注浆压力定为 0.5~1MPa,是为避免注浆时使初期支护破坏。

11.4.3 注浆过程中,围岩或支护结构发生较大变形时、危及地表安全时,应立刻减小注浆压力,并更换可注性好的材料,改变注浆参数。如果发生堵塞排水系统、串浆,可以采用的方法有:(1)降低注浆压力或采用间歇注浆,直到停止注浆;(2)采用快凝注浆材料,缩短浆液凝胶时间;(3)对串浆、跑浆部位进行封堵。

11.4.4 注浆特别是采用化学注浆,可能对环境造成污染。即便是采用对人体危害甚小的水泥类和水玻璃浆液,如不能妥善处理注浆废水,也可能对环境产生污染。例如洞内水不经处理直接排放,就可能污染田地、水源,给人民生产、生活带来损失。

11.5 质量检验及质量标准

11.5.1 本条修订后与现行《公路隧道设计规范》(JTG D70-2004)保持一致。

“不渗水”是指隧道衬砌、路面、设备箱洞等结构表面无湿润痕迹。

“不滴水”是指水滴间断地脱离拱部、边墙向下滴落,有时连续出水,也称作滴水成线。

“不积水”是指路面结构底部和衬砌背后不产生积水。在冻害地区，积水会造成衬砌背后和路面底部冻胀，影响隧道结构和行车安全。

“不冻结”是指排水沟不出现结冰冻胀。在冻害地区，排水沟冻结将会影响隧道内排水系统的畅通，甚至造成整个隧道的冻胀病害。

11.5.2~11.5.8 参照《公路工程质量检验评定标准》(土建工程)(JTG F80/1-2004)和相关铁路规范制定。

防水板的搭接缝焊接质量应按充气法检查，将 5 号注射针与压力表相接，用打气筒进行充气，当压力达到 0.25MPa 时停止充气，保持 15min，压力下降在 10%以内，说明焊缝合格；如压力下降过快，说明焊缝不严。用肥皂水涂在焊缝上，有气泡的地方重新补焊，直到不漏气为止。

12 风、水、电供应

12.1 供风和供水

12.1.2 国产的各种轻型风动凿岩机，一般使用风压为 0.4~0.6MPa。开挖面风压小于 0.5MPa 时将不能正常工作。

12.1.3 高压风、水管的安装使用，是根据多年施工经验总结制定的。

1 洞内风、水管在一侧，主要是便于检查与维修，在电线电缆的另一侧主要是出于安全考虑。

2 装设总、分闸阀的规定，是为了便于控制和维修管理。

12.2 供电与照明

12.2.3 洞外变电站是指 6~35kV 至 0.4kV 的降压变电站，设在洞口附近可以减少低压线路进洞前的电压损失，设在电源来线一侧可以免去高压线跨越施工地区增大施工作业的危险性。

电动机的起动电流，一般为其额定电流的 5~7 倍。如果供电电流是单台变压器，当单台电动设备容量超过变压器容量 1/3 时，可能影响到电网中其他电动机的正常运转。同时，巨大的起动电流会引起很大的线路电压降。为保证供电质量，故应适当考虑增加起动附加容量。

12.2.4 洞内供电线路布置和安装,做出了五款要求,是参照有关电力工程、电气设备安装的规定,并结合隧道施工的具体情况综合制定的。

根据隧道施工特点,电力线路的架设必须分两次进行:施工地段,随工作面向前推进,先用橡套电缆设临时线路;在成洞地段改用胶皮绝缘线架设固定线路。架设的方式是: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。施工作业地段照明应用安全变压器,输入电压 220V,输出电压 36V,因其容量不大,故输电线路长度一般不大于 100m。

12.2.7 为了节约能源,可采用其他新光源照明,如荧光灯、高压钠灯、低压钠灯、卤钨灯等,这些新光源具有照明效果好、节约能源、使用寿命长等特点,在长大隧道中深受用户欢迎。

13 通风、防尘、防有害气体

13.0.1 隧道施工作业卫生标准的规定,目的是保证施工人员进行正常的安全生产。

13.0.2 关于瓦斯浓度的规定是按《煤矿安全规程》(2004 年)、《铁路瓦斯隧道技术安全规范》(2002 年)规定与日本关于瓦斯隧道作业标准考虑制定,具体规定如下:

- 1) 总回风道风流中瓦斯含量应小于 0.75%。
- 2) 瓦斯隧道装药爆破时,爆破地点 20m 内,风流中瓦斯浓度必须小于 1%。
- 3) 开挖面瓦斯浓度大于 1.5%时,所有人员必须撤离至安全地点。

考虑到公路隧道施工,瓦斯隧道较少遇到,对瓦斯隧道处理没有经验,必须按煤炭部现行《煤矿安全规程》有关规定办理。

当公路隧道通过有瓦斯的岩层,且瓦斯浓度按体积计大于 0.5%时,应采取有效措施,加强测试、加强通风,使 CH_4 浓度控制在正常范围内。

1) 当瓦斯含量在 0.5%以下时,每小时检查一次,0.5%以上时随时检查,检查作业不得离开该工作面。

2) 加强通风,开挖面要有足够的风量和足以驱散瓦斯的风速,风速不应低于 $0.15\text{m/s} \sim 0.25\text{m/s}$ 。

3) 洞内安装自动报警装置。

4) 洞内机电设备、通风系统酌情采用防爆型。

13.0.4 关于隧道施工通风量计算，目前世界各国尚无公认的统一公式。

我国铁路隧道施工实践证明，若按每人每分钟供应 3m^3 新鲜空气，则可保证工人身体健康。

洞内供风量的计算，除保证施工人员身体健康需要的新鲜空气外，尚需满足施工方面的其他要求。因此，应从以下几种情况综合考虑：

(1) 按洞内同时工作的最多人数需要的新鲜空气计算风量。

(2) 在规定时间内把同时爆破且使用最多炸药量所产生的有害气体稀释到允许浓度以下，由此方法计算风量。

(3) 根据不同的施工方法，按坑道内规定的最小风速计算风量。

(4) 当隧道采用内燃机械施工时，还应按内燃设备总功率(kW)需要的空气计算风量。

按上列方法计算后，以其中最大者作为选择通风设备的依据。

13.0.9 风管的漏风率是影响管道通风的主要因素之一，要做到防止漏风，减少通风巷道阻力，防止主流风回风、短路等，这与隧道施工管理水平有很大关系，而经常性的定期检查、测试可以提高通风效果，达到安全、卫生的目的。在有矽尘的作业场所包括开挖工作面、喷射混凝土地段、搅拌混凝土场所均应定期取样分析。

关于粉尘的浓度检测应每月至少一次。对有害气体，每爆破循环应用仪器取样分析。

14 辅助坑道

14.1 一般规定

14.1.1 辅助坑道的施工与正洞导坑的施工基本相同，对于洞口工程的整治处理十分重要，稍有不慎，将有可能发生事故。

坑道口是施工的重要通道，坑道口的洞门作用相当于隧道洞门。条文要求在施工前做好坑道口的截、排水工程，防护冲刷的设施，其目的在于防止坑道口的坍塌、落石，保证施工安全。

14.1.2 辅助坑道是否设永久支护应由设计单位决定。但在施工中根据地质情况需设支护时，开挖与支护应配合进行，以保证顺利施工。

在辅助坑道的岔洞及与正洞连接处，因断面及形状变化较大，结构受力条件复杂等，故支护应特别加强并紧跟开挖，以保证安全。

14.1.3 坑道中有水时，对作业的效率 and 安全性都有影响，斜井或竖井的影响更甚。为提高工效，保证安全，应做好防水和排水工作，诸如及时做好排水沟（在地质松软地段，水沟应铺砌）、设置集水坑，配备足够数量的抽水设备等。

14.1.4 辅助坑道不再利用时的处理，是针对那种只在坑、井口及与正洞连接处用混凝土封闭或进行衬砌外，其余地段不作处理或用弃渣回填的做法。随着时间的增长，辅助坑道在不作处理或用弃渣回填的地段上，由于地下水的作用或弃渣回填不紧密而使洞室丧失稳

定,造成坍塌。这不仅影响到隧道周围岩体应力发生变化,而且由于坑道坍塌后,水流不畅,容易造成隧道衬砌开裂、渗水或漏水等病害,进而影响到正洞围岩的稳定。

14.2 斜井

14.2.1 斜井开挖,炮眼布置基本上与正洞导坑相同。顶板眼和辅助眼的钻眼方向应与斜井倾角一致,底眼一般大于倾角 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,以免出现台阶,不利铺轨。斜井的方向与斜度,在开挖中应勤测量,以保证斜井位置正确,这在长斜井施工中尤应注意。

14.2.2 当斜井倾角大于 30° 且地质条件差时,其墙基宜做成台阶形式以防止衬砌滑动。如用锚喷衬砌则无此必要。

当需要采用构件支撑时,其立柱与铅垂面夹角宜为斜井倾角的一半,最大不得超过 9° 。各排支撑间应用三道纵向支撑支稳。

14.2.3 斜井轨道铺设应严于一般轨道铺设。由于井内运输轨道容易向下滑移,造成斗车掉道,因此,安设防爬设备的轨距拉杆,可将钢轨或轨枕固定,以防轨道滑移。

斜井在未设人行道的一侧,根据支护条件和管线路安装的位置,与运输轨道之间应留有安全距离,以保证运输的安全。采用皮带运输机时,虽可不设轨道,但要考虑检修操作的方便,故不得小于400mm。

14.2.4 为保证斜井内运输安全的要求,条文规定的9款只是强调应做到的几个方面。在实施中尚应制定安全操作和维修细则,并参考现行《煤矿安全规程》的有关规定执行。

14.3 竖井

14.3.1 竖井锁口圈是防止井口坍塌、落石,保证施工安全的重要结构,故应在井身开挖前做好。井口配备井盖是为了防止人员和物体的坠井。

14.3.3 钻好的炮眼,为防止土砂等流入,应将炮眼口堵塞。此外,爆破时因需将水泵等提起,就会暂时积水,为防止漏电应对联线的绝缘加以保护。

竖井内安装的提升设备和管线路等设施的相互位置以及与井壁间的空隙间距,均有一定要求,故竖井开挖断面不得欠挖,否则将影响各种设施的布置。

14.3.4 条文对竖井提升设施的使用能力、安全装置的种类和组装、使用、保养过程中应

做到的事项做了规定，在实际工作中尚应结合各种设备的产品说明要求和提升方式要求，参考现行《煤矿安全规程》的有关规定订出各自的操作、维修细则，才能达到安全目的。

14.4 横洞与平行导坑

14.4.1 平行导坑与正洞间横通道应结合车行或人行横通道的位置设置，目的在于减少开挖，节省造价，但当原定位置地质条件不良时，可根据实际情况调整。

14.4.3 连接平行导坑和正洞的横通道交叉口处的开挖，应在平行导坑和正洞开挖至其位置时，将该处一次挖好，这样有利于通风、出渣，不影响平行导坑和正洞的掘进速度，采用轨道运输时，还应及时铺好道岔，接通轨道。

14.4.4 在地下水发育时横洞和平行导坑内易因排水不畅妨碍施工，故应设置完整通畅的排水系统。

15 辅助工程措施

15.1 一般规定

15.1.1 隧道通过浅埋、严重偏压、岩溶流泥地段、砂土层、砂卵(砾)石层、回填土、软弱破碎地层、断层破碎带等自稳性差的地段以及大面积淋水或涌水地段时,常会发生开挖面围岩失稳,或由于初期支护的强度不能满足围岩稳定的要求以及由于大面积淋水、涌水导致洞体围岩丧失稳定而产生冒顶、坍塌等,这不仅使围岩条件更加恶化,给施工带来极大困难,而且影响施工安全,延误工期,影响工程质量和隧道使用年限。此时采用通常的锚杆、喷射混凝土层、钢支撑等初期支护难以稳定围岩,因此需要采用辅助工程措施以稳定地层和处理涌水。

辅助工程措施包括地层稳定方法和涌水处理方法。地层稳定方法主要有超前锚杆、超前小导管、管棚、超前围岩预注浆、地面砂浆锚杆与注浆加固、掌子面正面喷射混凝土、临时仰拱、水平旋喷桩、冻结法、墙式遮挡法等;涌水处理方法主要有超前预注浆堵水法、开挖后补注浆堵水法、超前钻孔排水法、坑道排水法、井点降水法和深井降水法等。

说明表 15.1.1 辅助工程措施及其适用条件

辅助工程措施		适用条件
地层稳定措施	管棚法	V级和VI级围岩,无自稳能力,或浅埋隧道及其地面有荷载
	超前导管法	V级围岩,自稳能力低
	超前钻孔注浆法	V级和VI级软弱围岩地段、断层破碎带地段、水下隧道或富水围岩地段、坍方或涌水事故处理地段以及其它不良地质地段和特殊岩土地段
	超前锚杆法	IV~V级围岩,开挖数小时内可能剥落或局部坍塌
	拱脚导管锚固法	V级围岩,自稳能力低
	地表锚杆与注浆加固法	V级围岩浅埋地段和埋深 $\leq 50\text{m}$ 的隧道
	水平旋喷桩	V级和VI级软弱围岩(如淤泥、流砂等),土层含水量大,地下水位高(隧道位于地下水位以下),浅埋,隧道上方是交通繁忙的街道,还有纵横交错的管线,周围又紧邻高层建筑。
	冻结法	含水量大于10%的含水、松散、不稳定地层

	掌子面正面喷射混凝土	掌子面围岩破碎、渗淋水严重的临时措施
	临时仰拱	围岩与支护变形异常的临时措施
	墙式遮挡法	浅埋隧道, 且隧道上方地面两侧(或一侧)有建筑物
涌水处理措施	注浆堵水法	地下水丰富且排水时挟带泥沙引起开挖面失稳, 或排水后对其他用水影响较大的地段
	超前钻孔排水法	开挖面前方有高压地下水或有充分补给源的涌水, 且适量排放地下水不会影响围岩稳定及隧道周围环境条件
	坑道排水法	同上
	井点降水法	均质砂土、亚粘土地段以及浅埋地段

是否采用辅助工程措施, 应根据隧道所处的工程地质和水文地质条件、隧道长度、埋置深度、施工机械、工期和经济等方面考虑决定。各辅助工程措施的适用条件如说明表 15.1.1。使用时, 可结合隧道所处的围岩条件、施工方法、进度要求、配套机械、工期等进行比选, 有时可采取几种方法综合处理。

15.2 地层稳定措施

15.2.1 超前锚杆是一种超前预支护的方法。一般适用于在浅埋松散破碎的地层内。首先用凿岩机或钻孔台车沿隧道外轮廓线向外钻孔, 然后安设锚杆。超前锚杆根据围岩情况, 可采用双层或三层。一般超前锚杆设置后, 即可进行开挖, 但应保证前后两组支护在纵向应有不小于 1m 的水平投影搭接长度。超前锚杆支护若采用一般砂浆作胶结物时, 爆破后很可能影响其强度。为此宜采用早强砂浆作为锚杆与岩层孔壁间的胶结物, 以使尽早发挥超前支护作用。

15.2.2 超前小导管预注浆是沿隧道开挖轮廓线向外将管壁带孔的小导管打入地层内, 并以一定的压力向管内压注浆液。它既能将坑道周围岩体预先加固及堵住围岩裂隙水, 又能起到超前预支护的作用。这种方法, 施工简单, 且注浆时间短。适用于自稳时间很短的砂层、砂卵(砾)石层、断层破碎带、软弱围岩浅埋地段或处理塌方等地段。

为加速注浆, 可在小导管前安装分浆器, 一次可注入 3~5 根小导管。注浆后至开挖的时间间隔, 应视浆液种类决定。当采用单液水泥浆时, 开挖时间为注浆后的 8h, 采用水泥-水玻璃浆液时为 4h 左右。这主要是保证注浆材料有充分的胶凝时间, 使与地层充分胶结硬化, 达到加固、堵水的目的。

15.2.3 超前管棚支护适用于极破碎的地层、塌方体、岩堆等地段。在这些地段内辅以灌浆效果更好。当遇有流塑状岩体或岩溶、严重流泥地段, 采用与围岩预注浆相结合的方法, 也是一种行之有效的方法。

15.2.4 超前围岩预注浆是加固地层、封堵水源的一种方法, 适用于软弱围岩及断层破碎带、自稳性差的含水地段。

15.2.6 正面喷射混凝土是采用的临时支护方法,可用早强水泥或普通水泥加速凝剂的喷射混凝土,一般在掌子面破碎、渗淋水严重的情况下采用,以防止掌子面松弛,提高掌子面的自稳性或作为止浆墙。

临时仰拱是封闭断面、减少变形的最有效方法。当变形异常时,及时增设仰拱进行断面封闭,工艺简单且实用,其设置区段应根据围岩地质和量测数据等确定。

15.3 涌水处理措施

15.3.1 应该强调的是在选择处治方案时,一定要考虑到隧道周围的环境条件,否则后患无穷。根据现场情况可选择下列施工方法:

- 1 超前围岩预注浆堵水。
- 2 开挖后补注浆堵水。
- 3 超前钻孔排水。
- 4 坑道排水。
- 5 井点降水。

15.3.3 开挖后补注浆主要用于已实施预注浆但开挖后仍涌(淋)水严重,且初期支护存在变异甚至破坏的涌水处理不彻底的地段。

15.3.4、15.3.5 超前钻孔或坑道排水一般用于开挖面前方有高压地下水或有充分补给源的涌水,且排放地下水不会影响围岩稳定及隧道周围环境条件。

采用坑道排水,常可利用施工、通风、地质勘察等之用的辅助坑道以及施工中的超前导洞。也可经技术经济比较后,专门开挖一条辅助坑道排水。

超前钻孔或超前施工导洞排水是防止承压水突然袭击的措施。为达到较好的效果,应对地质和水文地质进行详细调查分析,判明地下水流方向,估计可能发生的涌水量,然后布置钻孔位置、方向、数目和每次钻进深度。应备足抽水设备,在钻孔口预先埋管设阀,控制排水量,以防承压水冲击及淹没坑道等意外险情的发生。必要时,施工人员撤出危险区。

15.3.6 由于大量降水易导致地表下沉,而破坏地表的生态环境和地面建筑的过大沉降。因此,采用此法时,应制定地表的变形监测及回灌处理等措施。

16 不良地质和特殊岩土地段施工

16.1 一般规定

16.1.1 在遇到不良地质和特殊岩土地段时，地质状态并不能完全符合现场的实际情况，因此有必要将设计资料与现场实际情况结合起来分析研究，在施工前必须制定一套科学合理的施工方案，并报上级及业主、监理部门的审批，结合紧急预案，防止地质灾害的发生。

本章的不良地质和特殊岩土除了包括本章给出规定的岩溶、岩爆、瓦斯等不良地质和黄土、膨胀岩土、流沙、富水软弱破碎围岩等特殊岩土以外，还包括可能对隧道施工产生影响的其他不良地质和特殊岩土，如：滑坡、危岩和崩塌、泥石流、采空区、活动断裂和冻土、盐渍岩土、风化岩、残积土等。

不良地质和特殊岩土对隧道工程的安全、经济有重大影响，应准确探明其位置、规模和对工程的影响程度，为此，条文中要求认真熟悉勘察资料。

强调施工前，了解设计意图，将设计资料与现场实际情况结合起来分析研究，制定出一套科学合理的施工方案，做到有的放矢、有备无患，以应对突发现象。熟悉设计图纸、理解设计意图，与施工过程揭示的实际现象对照，及时修订施工方案，是不良地质和特殊岩土隧道施工的重要环节。一定要克服只凭一些类似工程经验、制定个别施工关键方案的习惯做法，通过制定一套完整的、符合实际情况的实施方案，达到情况明、措施全、有准备的组织施工。

16.2 膨胀岩土

16.2.1 根据膨胀岩土遇水易膨胀、崩解的特点，膨胀岩土隧道的施工防排水原则，强调以防为主。

16.2.5 本条文关于施作二次衬砌的基本规定是针对膨胀岩土的特点，为确保施工质量和施工安全而提出的。其中未就二次衬砌的施作时间做出具体规定，主要考虑到膨胀岩土变形特性复杂很难用支护变形速率判断其稳定状态和衬砌结构承担的后期变形压力，施工中应根据设计意图和对膨胀岩土变形特性的了解，以及类似工程的经验加以确定。

16.3 黄土

16.3.2 我国北方许多地区属第四纪黄土质砂粘土地层，土体强度低、垂直裂隙发育、遇水易软化，在地表水的作用下极易冲蚀，有些风积土层具有不同程度的湿陷性。在此种地层中开挖隧道，容易出现坍塌、沉陷，尤其是有地下水出现处，围岩强度大幅度降低不能自稳。条文要求施工时，注意调查隧道周围土体的表征和特性，就是要预先采取措施防备引起土体失稳而危及工程安全和施工安全。

黄土隧道开挖绝大多数情况下，采用短台阶法或环形开挖留核心土法，并与导管超前支护、型钢拱排布等辅助法配合使用，为降低对土体的扰动，采用人工或机械开挖方式。条文中规定的不得采用分部独进开挖方法包括长台阶法、中导洞超前法等，因其常导致黄土围岩过度松弛而坍塌或下沉严重。浅埋黄土隧道采用侧壁导坑法、中隔壁法开挖，能有效防止地表下沉，常也辅以管棚超前支护、地层加固等辅助工法。

16.3.3

1 黄土隧道围岩垂直节理的存在是导致隧道拱顶坍塌的关键因素，节理在坑道顶部时，极易产生“塌顶”；如果位于侧壁，则极易出现侧壁掉土、片帮，施工中若处理不当，常会引起较大的坍塌。

2 黄土围岩开挖后，短时间内围岩松弛加快，进而发生坍方。因此，支护应紧跟开挖面，尽快形成刚度较大的支护体系。黄土锚杆抗拉拔试验必须在进洞前完成，为设计单位完善设计提供依据。

3 当洞身黄土含水量较大时，锚杆钻机施钻困难，煤电钻电机易烧坏，施工中一般采用煤矿螺旋钻。干钻成孔。锚杆早强材料如：药包式锚杆等

16.3.4

1 黄土隧道开挖后总的变形量和迅速变形阶段结束的时间,完全受控于仰拱封闭的时间,仰拱早封闭则总变形量小,仰拱晚封闭则总变形量大。因此要控制初期支护的变形量就必须尽早封闭仰拱,而且仰拱要有足够的刚度来承担拱墙传递下来的应力,因此也必须强调仰拱的整体性。

2 黄土隧道初期支护的变形量与黄土性质、洞室跨度,尤其是土体的含水量有着密切的关系,新黄土变形量大,老黄土变形量小;大跨洞室变形量大,小跨洞室变形量小;土体含水量大时变形量大,土体含水量小时变形量小。变形的主要表现为初期支护的整体下沉。因此,拱墙二次衬砌应整体灌注,并及早施作。

16.4 岩溶

16.4.2 岩溶是可溶性岩层(包括:碳酸盐、硫酸盐、硝酸盐等。如:石灰岩、白云岩、白云质灰岩、石膏等)受具有溶解能力的水的长期作用而产生的。隧道遇到情况各异的溶洞,都会给施工带来一定的困难,对隧道的危害也是多方面。因此了解与施工有密切关系的溶洞就显得至关重要。除了熟悉设计提供的溶洞里程、规模以及类型外,必须在隧道的开挖或超前探测中逐渐掌握更为详细的情况,如溶洞位置、溶洞大小、填充情况、发育程度、储水及补给等。为了能及时正确地制定施工技术方案,必须根据设计资料结合现场实际发生的情况进行综合分析和研究。

通过地表观察发现有下列现象时,可初步判断岩层中存在溶洞、暗河。

- (1) 四周汇水的洼地内,发现有落水洞、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。

国内比较认可的溶洞形状分类为:

(1) 大厅式,溶洞的横断面近似于矩形,纵向的高程变化较小,接近于水平,其长度与宽度的比例不限。

(2) 管道式,溶洞的横断面近似于圆形或椭圆形,纵向长度远大于横断面的尺寸,较大的管道式溶洞往往中间存在有多个支洞。

(3) 蜂窝式, 溶洞发育较完整, 呈不规则形状, 类似于蜂窝的形状。蜂窝式溶洞中, 往往存在有一些溶沟、溶柱等其他几何形式的岩溶产物。

16.5 含水沙层

16.5.1 流沙是沙土或粉质粘土在水的作用下丧失其内聚力后形成的, 多呈糊浆状, 对隧道施工危害极大, 所到之处, 围岩失稳坍塌, 支护结构变形倒塌。由于流沙导致坑道淤死、衬砌结构失稳, 在国内外不乏其例。为防止流沙危及隧道施工, 有进一步了解其规模、特性、类型的必要。

16.5.2 、16.5.3 这两条是隧道通过风积沙和含水沙层的开挖、支护、衬砌等工序的施工操作要求, 以及必要时可采取的措施, 这些内容都是从近来一些工点的施工实践经验和教训中总结出来的。其中有二点极重要:

迅速封闭流沙通道, 防止流沙大量涌入, 尤其是开挖面附近更应如此。

仰拱、衬砌灌注时间应尽可能靠前, 形成封闭环后, 能有效地抑制流沙、防止支护结构遭破坏。

16.6 瓦斯

16.6.1 本条强调瓦斯隧道施工对人员组织、人员技能素质的要求。只有严密的组织合格人员, 严格按规程施工才能防患于未然。隧道接近或穿越煤(岩)层, 有可能发生瓦斯溢出, 为确保安全, 施工前必须确定应对瓦斯溢出的措施。在施工中不论瓦斯出现早晚、时间长短、地点位置、数量大小, 即按瓦斯隧道施工。

16.7 岩爆

16.7.1 国内隧道工程的实践表明, 判断产生岩爆有 5 个方面的主要指标:

(1) 岩石的强度 $R_b \geq 80\text{MPa}$ 。

(2) 岩层中的原始初应力 $\sigma_0 \geq (0.15 \sim 0.2) R_b$ 。

(3) 围岩的级别: I、II 或 III 级。

(4) 隧道的埋深 $H \geq 50\text{m}$ 。

(5) 岩石干燥无水，呈脆性，节理基本不发育。

一般发生岩爆的隧道基本上能同时满足这 5 个条件，也有极少数的隧道，在未完全满足这 5 个条件的情况下，也出现了岩爆。因此，为了更具普遍性，只要满足其中任意三项指标时，即可判定岩爆的存在。

根据山岭隧道岩爆的基本特征，划分为三类：

(1) 破裂松脱型：围岩呈块、板、鳞片状爆裂，爆裂声微弱。爆裂的岩块需经过一段时间后才从母岩表面弹射下来，弹射距离较小。弹射速度一般小于 2m/s ，部分岩块是自上而下的坠落。此类型为微弱的岩爆。

(2) 爆裂弹射型：岩片的弹射及岩粉的喷射，爆裂声响如同鞭炮，爆出的岩块成片状弹射或剥离，射出来的岩块多为中间厚、周边薄的鳞片，其较大的块体达到直径 $D=0.3 \sim 0.5\text{m}$ 、厚度 $h=0.1 \sim 0.3\text{m}$ ，岩片弹射的速度一般约为 $2.0 \sim 5.0\text{m/s}$ ，发生的部位一般在新开挖的工作面及其附近的拱部。岩爆发生前连续发生有如破竹般的劈啪声，发生后有岩粉尾随出现。发生岩爆的洞壁岩面一般光滑平整。此类型为中等岩爆。

(3) 爆炸抛石型：巨石抛射，声响如炮弹爆炸，抛石体积有数立方米至数十立方米，抛射距离数米至一二十米。弹射的速度一般大于 5m/s ，岩爆部位集中于爆破后的开挖面。岩爆发生在爆破后数分钟内，并很快趋于平稳。此类型为强烈岩爆。

16.8 富水软弱破碎围岩

16.8.1 地下水丰富和围岩软弱破碎，都是隧道掘进中非常不利的条件，二者同时具备的隧道，施工难度将会数倍增加。经验表明处理好地下水，才能保障施工安全、才能避免地下水资源遭破坏、才能防止地表生态环境恶化。条文据此列出对富水软弱破碎围岩隧道掘进的要求。

1 将超前地质预报作为一道工序纳入生产过程，预报的重点包括前方围岩级别、断层、软弱破碎带的位置、地下水活动情况等。根据对前方地质、地下水的了解，确定治水、防塌措施。

2 可排水施工的隧道段，宜采用超前钻孔排水并保持 $10 \sim 20\text{m}$ 的超前距离；当涌水量特别大时，可采用超前适当距离的导坑排水。超前钻孔或辅助导坑排水的降压作用，能使

正洞涌水量减小,水压降低,有利于开挖面围岩稳定。可排水施工的隧道段,指采用不限流量的疏水措施后,不会危及生态环境、能改善围岩稳定性的地段。

3 不宜排水施工的隧道地段,应采取注浆堵水措施。隧道开挖前进行地面预注浆或开挖工作面预注浆,能固结破碎岩体,减少地层渗透系数,从而达到提高围岩稳定性、降低洞内涌水量。不宜排水施工的隧道地段,指必须采用堵水措施、限制地下水流失量,才能维持生态平衡、提高围岩稳定性的地段。

4 宜采用对围岩扰动小的控制爆破、局部松动爆破、机械或人工等开挖方式。一般采用正台阶环形开挖预留核心土法、双侧壁导坑法、中隔壁法和交叉中隔壁法等分部开挖方法。要求短进尺、强支护、早成环。

16.8.2 加强对围岩与支护的变形观察与位移量测,必要时还应对钢架内力进行测试。当出现异常现象,应加大量测频率。注重对量测数据分析处理与反馈,及时判断支护参数和施工方法是否合理等。

17 隧道路面施工

17.0.6 路面和路面基层与防排水设施的施工应统筹安排，协调完成，避免互相干扰，加强成品保护。

17.0.7 隧道内的路面一般直接设在仰拱填充或隧道底板（铺底）之上，所以仰拱填充和隧道底板（铺底）是一种特殊形式的路面基层，应满足路面基层的设计要求。

18 附属设施工程

18.1 设备洞、横通道及其他

18.1.5 隧道内部吊顶隔板有现浇和预制两种。两者均不得下挠，上下表面应光洁、平顺，接缝处应严密，不得漏风和渗水，吊顶标杆应镀锌防锈。由于现浇隔板施工过程较预制隔板施工过程复杂，因此本条以现浇吊顶隔板进行规定。对于预制隔板的施工，亦可参照本条规定执行。

18.2 装饰工程

18.2.1 隧道洞门及隧道内采用的装修材料，常用的有瓷砖镶面、块状混凝土、喷涂油漆、镶面板等。与之相应的施工方法有贴瓷砖或贴马赛克法、安装砌块法、喷涂法及镶板法等。由于各种材料本身的性质及施工要求有所不同，因而应根据设计要求的装饰材料按照现行《建筑装饰工程施工及验收规范》GB 50210 的有关规定执行。

为了降低隧道内噪声，可在拱顶或边墙上设置吸音板。它的安装可按本节规范执行。

18.3 运营设施及其他

18.3.2 蓄水池混凝土达到设计强度后的注水试验应分三次进行。每次注水量为全容量的1/3，间隔时间不少于3h，注水后经24h，观察池壁有无潮湿痕迹，并做好记录。

18.3.3 水泵基础一般应置于稳固的岩层上，土质隧道宜扩大基础保证水泵运行时的稳定。

18.3.4 压力管道只有在安置检查合格且管身与两侧及顶部回填不小于0.5m以后才能进行压力试验。压力试验的方法可按下述步骤进行：

(1) 试验前，先排除管内的空气，然后灌满清水对管道进行浸润，浸润时间不少于24h。

(2) 将管道压力逐步升高到工作压力，检查管道口和接口，如无渗漏，再提高试验压力（工作压力加0.5MPa，但不得低于1MPa）。观察10min，如压力下降值不超过0.05MPa，即为合格，否则应进行渗水量试验。

19 交工验收

19.0.2 隧道工程验收时，施工单位应提供下列文件及资料：

- 1 工程竣（交）工报告；
- 2 工程质量检验评定资料；
- 3 隧道竣工图及其他文件（隐蔽工程检验证）；
- 4 变更设计文件；
- 5 隧道表；
- 6 工程日志；
- 7 施工测量记录、各种控制点的位置与贯通测量成果；
- 8 工程地质、水文地质的实际情况资料（含较大塌方），衬砌位移、变形、开裂等的监控量测资料；
- 9 工程材料试验和工程试件的质量鉴定，试验报告单；
- 10 施工总结报告。