

ICS 93.060
CCS P 21

DB37

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 4867—2025

城市轨道交通隧道硬岩拱盖法施工技术规程

Code of practice for hard-rock arch-cover method construction technique in urban rail transit tunnel

2025-07-29 发布

2025-08-29 实施

山东省市场监督管理局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 城市轨道交通隧道硬岩拱盖法施工程序	1
5 施工准备	2
5.1 施工准备程序	2
5.2 前期调查	3
5.3 技术准备	3
6 工法选择	3
6.1 一般规定	4
7 开挖与支护施工	8
7.1 开挖与支护施工程序	8
7.2 开挖施工步骤	8
7.3 初期支护施工步骤	9
7.4 二次衬砌施工步骤	11
7.5 超前支护与加固施工步骤	13
8 防水施工	14
8.1 一般规定	14
8.2 全包型结构施工步骤	14
8.3 排水型结构施工步骤	14
9 施工监测	16
9.1 一般规定	16
9.2 监测项目	16
9.3 监测点布置施工步骤	17
9.4 监测频率施工步骤	18
9.5 监测项目控制值和预警施工步骤	18

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

城市轨道交通隧道硬岩拱盖法施工技术规程

1 范围

本文件确立了城市轨道交通隧道硬岩拱盖法施工工艺流程，规定了城市轨道交通硬岩隧道拱盖法施工准备、工法选择、开挖与支护施工、防排水施工、施工监测等阶段的操作指示，以及上述阶段之间的转换条件，描述了城市轨道交通硬岩隧道拱盖法施工过程记录、施工监测等追溯/证实方法。

本文件适用于城市轨道交通隧道的硬岩拱盖法施工的准备、施工过程及施工监测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 175 通用硅酸盐水泥

GB/T 700 碳素结构钢

GB 6722 爆破安全规程

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB 50108 地下工程防水技术规范

GB 50208 地下防水工程质量验收规范

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准

GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范

JC 1066 建筑防水涂料中有害物质限量

JGJ 18 钢筋焊接及验收规程

DB37/T 5163 城市轨道交通工程沿线既有建（构）筑物鉴定评估技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 拱盖法 arch-cover method

隧道拱部分步开挖并形成拱盖结构体系，将拱部垂直荷载传递到两侧较为稳定的围岩上，在其保护下开挖下部岩体的施工方法。

3.2 初支拱盖法 primary bracing arch-cover method

采用喷锚初期支护作为拱盖结构体系的拱盖法。

4 城市轨道交通隧道硬岩拱盖法施工程序

4.1 城市轨道交通硬岩隧道拱盖法施工程序包括施工准备、工法选择、开挖与支护施工、防水施工、施工监测等阶段，程序流程图如图1所示。

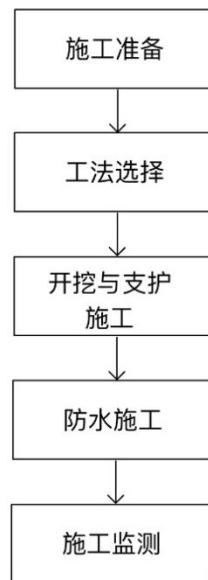


图1 城市轨道交通硬岩隧道拱盖法程序

- 4.2 拱盖法隧道施工编制专项施工方案，建立质量、安全管理体系，并采取相应的安全和环境保护措施。
- 4.3 对工程原材料、半成品和成品进场进行验收，质量合格后方可使用。
- 4.4 施工场地根据拱盖法施工工艺特点合理布置。
- 4.5 施工期间对支护体系、邻近的建筑物、地下管线、道路与轨道交通线路等进行检测，并对重要或有特殊要求的建（构）筑物采取必要的技术措施。

5 施工准备

5.1 施工准备程序

5.1.1 施工准备程序包括地质情况调查（必要时补充地质勘察）、现场勘察、制定应急方案、工程范围内的建（构）筑物调查、确定废气排放、施工前期资料准备、方案专项论证等7个步骤。程序流程图如图2所示。

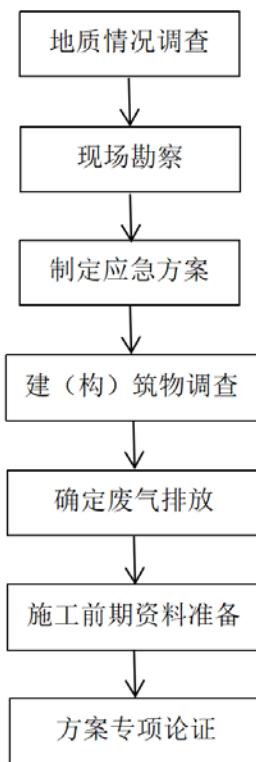


图2 施工准备流程图

5.2 前期调查

- 5.2.1 施工前，对施工地段的工程地质和水文地质情况进行调查，必要时补充地质勘察。
- 5.2.2 按照 DB37/T 5163，对工程影响范围内的地面建（构）筑物进行现场踏勘和调查，对需加固或基础托换的建（构）筑物进行详细调查、鉴定，并提前做好应急方案。
- 5.2.3 对工程影响范围内的地下障碍物、地下构筑物、桥梁、高压线塔、文物保护、及地下管线等进行调查、探查。
- 5.2.4 按照 GB 16297 的规定确定隧道内的施工机械、设备采用电动，采用内燃动力的废气排放。

5.3 技术准备

- 5.3.1 施工前，具备下列资料：
 - 工程地质和水文地质勘察报告；
 - 周边环境、地下管线和障碍物等的调查报告；
 - 施工所需的设计图纸资料和工程技术要求文件；
 - 施工组织设计。
- 5.3.2 专项施工方案进行专项论证：
 - 施工组织设计编制符合施工安全、工程质量、工程进度和环保要求，并经审批后组织实施；
 - 分部、分项工程施工方案编制与施工组织设计相一致；
 - 测量、监测、试验、临时用水用电方案编制与施工组织设计相一致。

6 工法选择

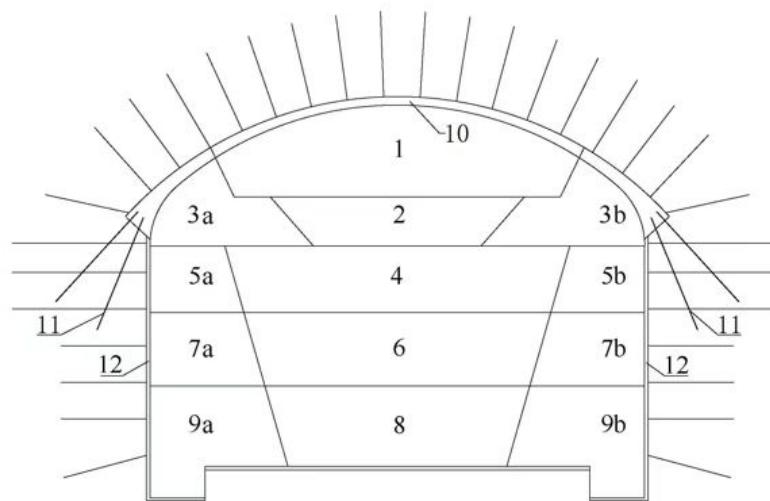
6.1 一般规定

6.1.1 拱盖法适用于大跨暗挖结构，包括初支拱盖法和二衬拱盖法，其中初支拱盖法包括单层初支拱盖和双层叠合初支拱盖法，工法选择按以下原则确定：

- 当结构拱顶上覆中、微风化岩层，岩层较厚、岩石完整性较好，且围岩透水性弱时，采用单层初支拱盖法；
- 当拱部上覆中、微风化岩层，岩层厚度较薄或位于强风化岩层、且围岩透水性弱～中等时，采用双层叠合初支拱盖法或二衬拱盖法，并采取基岩裂隙水处理措施；
- 当拱部上覆土层时，或围岩透水性强时，不采用拱盖法施工，采取加固措施并经充分论证后可采用二衬拱盖法施工；
- 拱脚持力层为完整硬岩，软岩及破碎岩体经评估承载力满足要求后也可作为拱脚持力层，并加强施工措施。
- 采取超前地质预报等方法对地层进行探查，地质条件发生变化时，及时调整施工方法，做好工序衔接，并采取相应的工程措施。

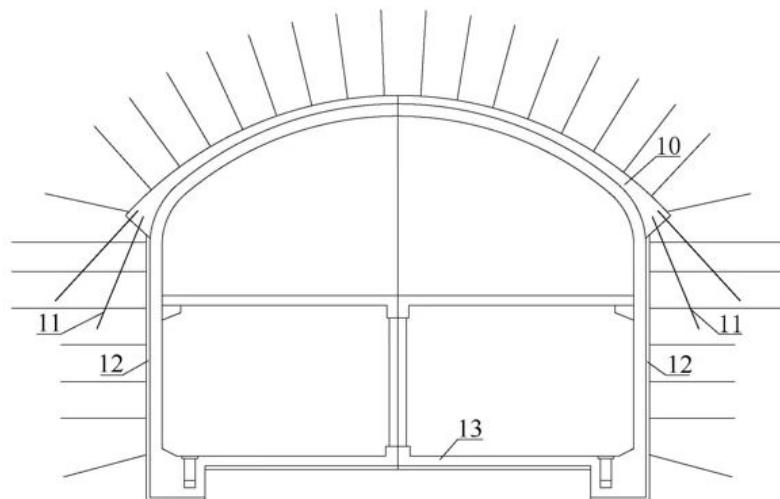
6.1.2 单层初支拱盖法施工按图3施工，操作如下：

- a) 拱部中间分两个台阶开挖，先开挖隧洞拱部中间上台阶1，并施作该部分初支拱盖11；
- b) 开挖隧洞拱部中间下台阶2；
- c) 开挖隧洞拱部左侧部3a、隧洞拱部右侧部3b，在拱脚位置施作锁脚锚杆12，接长拱顶初支拱盖11，完成初支拱盖11施工；
- d) 在初支拱盖11的保护下，拉槽开挖下部岩体，分左、中、右三部分和上、中、下三台阶共9步开挖（根据现场条件进行调整），并施作相应段的边墙初期支护13，直到开挖到底；
- e) 自下而上顺筑主体结构14，施工完成。



a) 单层初支拱盖法开挖步序图

图3 单层初支拱盖法施工步序图



b) 单层初支拱盖法支护步序图

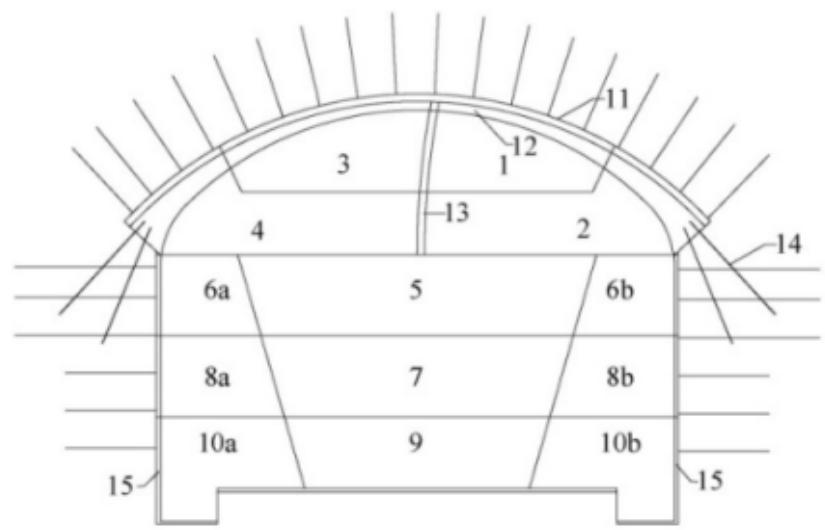
标引序号说明：

- 1~9——开挖顺序；
- 10——初支拱盖，包含系统锚杆、格栅钢架、喷射混凝土及钢筋网片；
- 11——锁脚锚杆；
- 12——边墙初期支护；
- 13——主体结构。

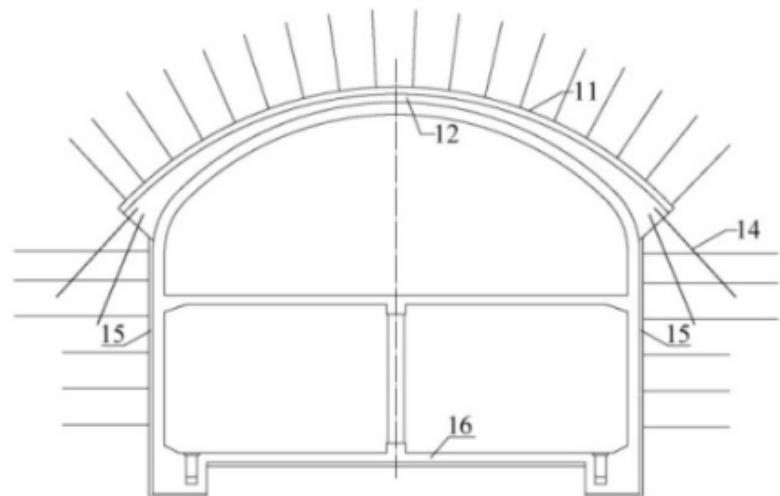
图3 单层初支拱盖法施工步序图（续）

6.1.3 双层叠合初支拱盖法施工按图4施工，操作如下：

- a) 拱部一般采用“CD”法施工（当围岩条件差时，拱部开挖采用双侧壁导坑法），先开挖右侧上台阶1，并施作该部第一层初期支护11和临时中隔壁13上部；
- b) 开挖右侧下台阶2，施作临时中隔壁13下部及第一层初期支护11；
- c) 开挖左侧上台阶3，并施作该部第一层初期支护11；
- d) 开挖左侧下台阶4；
- e) 拱部开挖完成后，原则上先施作第二层初期支护12及14，再根据监测情况拆除临时中隔壁13；必要可短拆除（不超过3m）临时中隔壁13后，再施作第二层初期支护12。第一层初期支护11与第二层初期支护12可靠连接，形成叠合初支拱盖（11+12）；
- f) 在第一层初期支护11和第二层初期支护12叠合初支拱盖保护下，拉槽开挖下部岩体，分左、中、右三部分和上、中、下三台阶共9步开挖（根据现场条件进行调整），并施作相应段的边墙支护15，直到开挖到底；
- g) 自下而上顺筑主体结构16，施工完成。



a) 双层叠合初支拱盖法开挖步序图



b) 双层叠合初支拱盖法支护步序图

标引序号说明:

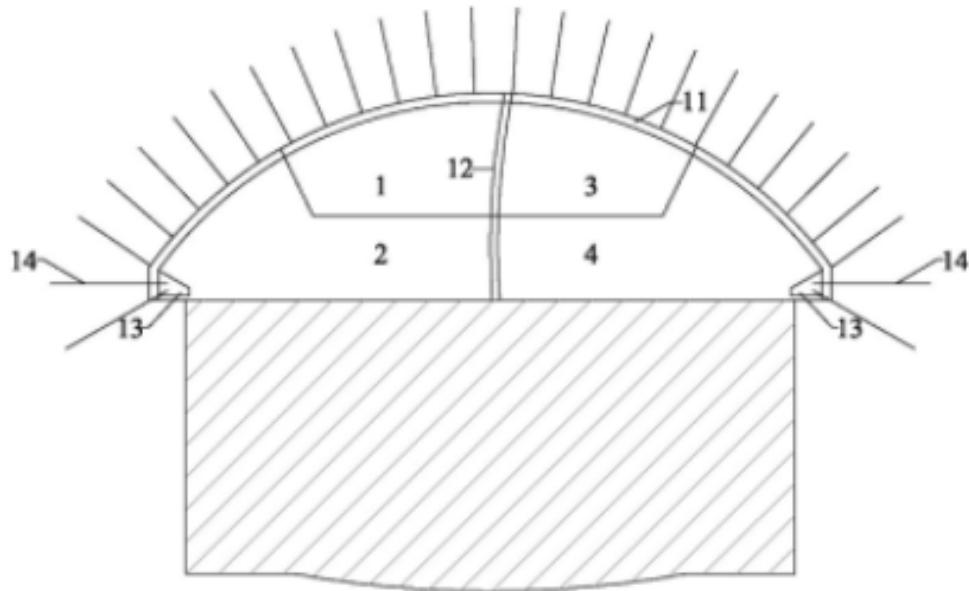
- 1~10——开挖步序;
- 11——第一层初期支护, 包含系统锚杆、格栅钢架、喷射混凝土及钢筋网片;
- 12——第二层初期支护, 包含格栅钢架、喷射混凝土及钢筋网片;
- 13——临时中隔壁;
- 14——锁脚锚杆;
- 15——边墙初期支护;
- 16——主体结构。

图4 双层叠合初支拱盖法施工步序图

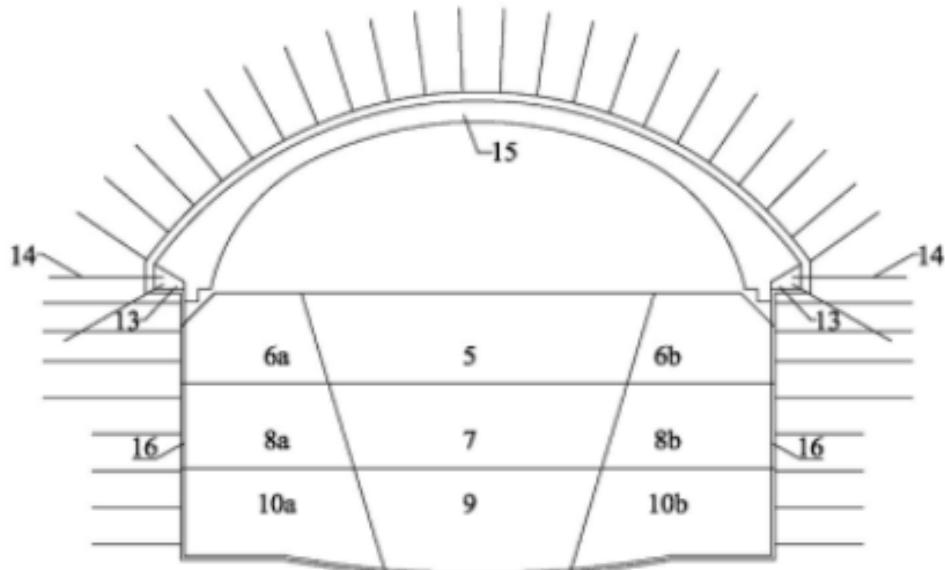
6.1.4 二衬拱盖法施工按图 5 施工, 操作如下:

- 拱部采用“CD”法施工(当围岩条件差时, 拱部开挖采用双侧壁导坑法), 先开挖左侧上台阶 1, 并施作该部初期支护 11 和临时中隔壁 12 上部;

- b) 开挖左侧下台阶 2, 施作临时中隔壁 12 下部;
- c) 开挖右侧上台阶 3, 并施作该部第一层初期支护 11;
- d) 开挖右侧下台阶 4;
- e) 拱部开挖完成后, 施作拱脚锚杆 14 和浇筑拱脚梁 13;
- f) 短拆除拱部临时中隔壁 12, 模筑二衬拱盖 15;
- g) 在二衬拱盖 15 保护下, 拉槽开挖下部岩体, 分左、中、右三部分和上、中、下三台阶共 9 部开挖(根据现场条件进行调整), 并施作相应段的边墙支护 16, 直到开挖到底;
- h) 自下而上顺筑剩余主体结构 17, 施工完成。



a) 二衬拱盖法开挖步序图



b) 二衬拱盖法支护步序图

图5 二衬拱盖法施工步序图

标引序号说明：

- 1~10——开挖顺序；
- 11——初期支护；
- 12——临时中隔壁；
- 13——拱脚梁；
- 14——锁脚锚杆；
- 15——二衬拱盖；
- 16——边墙初期支护。

图 5 二衬拱盖法施工步序图（续）

7 开挖与支护施工

7.1 开挖与支护施工程序

7.1.1 开挖与支护施工程序包括制定防坍塌应急方案、开挖、初期支护、二次衬砌、超前支护与加固等5个步骤，其中，开挖阶段采用光面或预裂控制爆破开挖，初期支护和二次衬砌完成后进行贯通测量。程序流程图如图6所示。

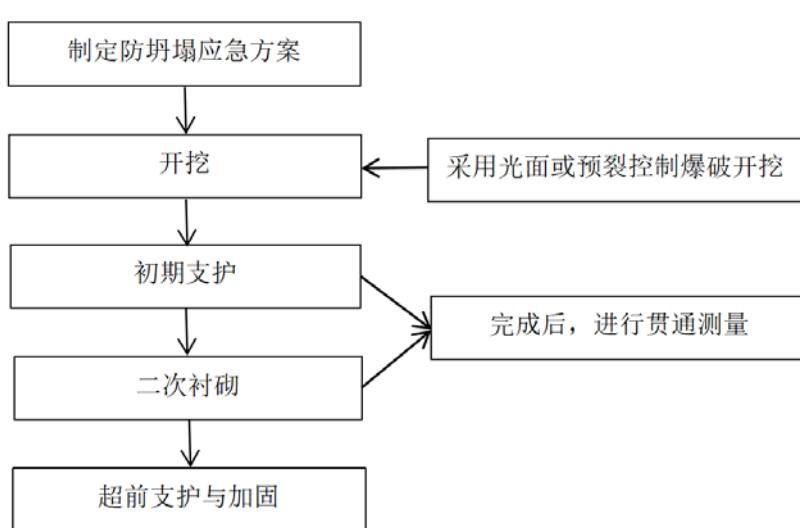


图6 开挖与支护施工程序流程图

7.1.2 施工时合理安排施工步序，做到开挖、初期支护、二衬浇筑的合理衔接，施工过程中如实记录施工情况，形成工程施工记录及各工序验收录像。

7.1.3 拱盖法施工开挖后及时施作初期支护并封闭，当开挖面围岩稳定时间不能满足初期支护结构施工时，采取超前支护及加固措施。

7.1.4 拱盖法施工采取必要的止水措施。

7.1.5 按照GB 6722的规定，采用钻爆法施工前，编制爆破方案。

7.1.6 隧道初期支护、二次衬砌完成后，均进行贯通测量。

7.2 开挖施工步骤

- 7.2.1 隧道开挖前制定防坍塌应急预案，备好抢险物资，并在现场堆码整齐。
- 7.2.2 钻爆法施工采用光面或预裂控制爆破开挖技术，充分发挥围岩自身的承载能力。
- 7.2.3 采取爆破施工时，按照 GB 6722 等相关标准确定爆破振速控制值。
- 7.2.4 拱部开挖循环进尺，在 V 级围岩一榀钢架，IV 级围岩不超过两榀。
- 7.2.5 隧道采用分部开挖时，保持各开挖阶段围岩及支护结构的稳定性。
- 7.2.6 隧道按规定尺寸严格控制开挖断面，不应欠挖，控制超挖。
- 7.2.7 拱部开挖采用台阶法、CD 法，必要时可考虑采用双侧壁导坑法；待拱盖形成后，下部岩体采用“纵向分段、竖向分层、中部拉槽”的方法进行开挖。
- 7.2.8 拱盖法下部岩体开挖时，相邻侧岩体先后距离保持不准许小于 15 m，上下断面采用超短台阶法、距离保持 3 m~5 m。
- 7.2.9 隧道开挖过程中，进行地质描述并做好记录，并将超前地质预测预报纳入施工管理。
- 7.2.10 为提高大拱脚的整体性和稳定性，操作如下：
- 拱脚处设置锁脚锚杆，纵向间距与拱部格栅钢架间距匹配；每榀格栅钢架单侧设置不准许少于 2 根锁脚锚杆，单根长度不准许小于 3.5 m；
 - 拱脚存在破碎带时，采取拱脚设置注浆锚管（代替锁脚锚杆）和加强连梁，必要时打设竖向钢管桩等措施；
 - 对拱脚侧面和下方的岩体采取控制爆破措施，以减小对大拱脚及周边围岩的松动破坏；
 - 边墙上、下部分锚杆采取差异化布置，邻近大拱脚的锚杆长度适当加长，间距适当加密。
- 7.2.11 拱部 CD 法开挖操作如下：
- 左右部的台阶高度根据地质情况、隧道断面大小和施工设备确定。每侧按两步或三步台阶开挖，开挖后及时施作初期支护、中隔壁；两侧先后距离保持不准许小于 15 m，上下断面采用超短台阶法、距离保持 3 m~5 m；
 - 在先开挖侧喷射混凝土达到强度要求后进行另一侧开挖。
- 7.2.12 拱部双侧壁导坑法开挖操作如下：
- 必要时采取超前大管棚、超前锚杆、超前小导管、超前预注浆、掌子面封闭等辅助施工措施进行超前加固；
 - 侧壁导坑形状近于椭圆形断面，导坑断面宽度为整个断面宽度的 1/3，各部开挖时，周边轮廓尽量圆顺；
 - 在先开挖侧喷射混凝土达到强度要求后再进行另一侧开挖；
 - 侧壁导坑、中槽部位采用超短台阶法开挖，台阶长度为 3 m~5 m，左右两侧导坑开挖工作面的纵向间距不准许小于 15 m，侧壁与中槽开挖工作面的纵向间距不准许小于 15 m；
 - 两侧壁导坑钢架的位置准确定位，确保中槽开挖后形成全断面时各部架设钢架连接在同一个垂直面内，且及时完成全断面初期支护闭合。

7.3 初期支护施工步骤

- 7.3.1 钢架和钢筋网在工厂加工。钢架第一榀制作好后进行试拼装，并经验收合格后方可批量生产。
- 7.3.2 钢架和钢筋网采用的钢材种类、型号、规格、加工尺寸等符合相关要求，按照 GB/T 700 的规定确定型钢材料，按照 JGJ 18 的规定确定施焊。
- 7.3.3 钢架加工操作如下：
- 钢筋格栅钢架、型钢钢架的加工除符合弧度和尺寸要求外，还考虑安装方便；
 - 对曲线、连接复杂的钢架按 1:1 的比例制作台具，并在台具上加工，弯曲时不准许采取预热措施；
 - 钢架矢高及弧长不准许小于规定值，组装后在同一平面；

- d) 钢架分节充分考虑可操作性，每节钢架长度不准许大于 5 m。

7.3.4 钢架在开挖或初喷射混凝土后及时架设，操作如下：

- a) 钢架安装壁面轮廓坚实并修理平整，每段钢架架立在原状土（岩）体上，其拱脚或墙脚支立牢固，清除拱脚浮渣，并采用 C20 混凝土填塞密实，部分不密实处筛挤钢板，确保钢架拱脚不下沉；
- b) 打设锁脚锚杆（管），钢架与锁脚锚杆（管）连接牢固；
- c) 与先安装的钢架节点连接紧密牢固；
- d) 钢架与壁面楔紧，每榀钢架节点及相邻钢架纵向连接筋连接牢固；
- e) 钢架安装垂直线路中线；
- f) 钢架通过纵向连接筋连接，纵向连接筋间距 1 m~2 m，随开挖随接长。

7.3.5 钢筋网加工及铺设操作如下：

- a) 钢筋网交叉点可绑扎，也可点焊接，网片整体平整、牢固；
- b) 钢筋网片铺设平整，并与钢架或锚杆连接牢固；
- c) 钢筋网设置于钢架的迎土侧；当初期支护厚度大于 300 mm 时，在钢架的迎土侧和背土侧均设置钢筋网；
- d) 钢筋网网格间距为 150 mm~200 mm，每片钢筋网之间搭接牢固，且搭接长度不准许小于 200 mm。

7.3.6 支承钢拱架的锁脚锚杆（管）在钢拱架就位后及时安装。

7.3.7 锚杆（管）钻孔孔位、孔深、孔径和角度等严格按设计施工。

7.3.8 锚杆安装操作如下：

- a) 安装前将孔内清理干净；
- b) 杆体插入锚杆孔时，保持位置居中，插入深度符合规定值；
- c) 砂浆锚杆孔内灌注砂浆饱满密实；
- d) 药包型锚杆、树脂锚杆先检查药包和树脂卷质量，受潮或变质者不应使用；在杆体插入过程中注意旋转，使粘结剂充分搅拌；
- e) 同一批锚杆每 100 根取一组试件做抗拔试验，每组 3 根（不足 100 根取 3 根），材料变更时另取试件；同一批试件抗拔力的平均值不准许小于规定的锚固力，且同一批试件抗拔力最低值不准许小于规定锚固力的 90%。
- f) 拱部砂浆锚杆受锚杆角度影响，施工操作困难，质量难以保证，优先使用中空注浆锚杆或自锁式组合中空注浆锚杆。

7.3.9 锁脚锚杆（管）施工操作如下：

- a) 钢拱架就位后，及时打设，防止钢拱架下沉；
- b) 根据地层情况，锚杆（管）打设可锤击打入，也可用小型机具预成孔后插入；
- c) 安装后杆体与钢拱架间夹角符合规定值，且连接牢固；
- d) 锚杆（管）与孔壁紧密，入孔后不得径向锤击；
- e) 需要注浆的锚杆（管）及时注浆。

7.3.10 喷射混凝土施工采用湿喷工艺，操作如下：

- a) 按照 GB 175 的要求，水泥选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，强度等不准许小于 32.5 级；
- b) 速凝剂使用前做与水泥相容性试验及水泥净浆凝结效果试验，初凝时间不准许超过 5 min，终凝时间不准许超过 10 min；根据水泥品种、水胶比等，通过试验确定速凝剂的最佳掺量，并在使用时准确计量；不使用碱性速凝剂；
- c) 细骨料采用硬质洁净的中砂或粗砂，细度模数只准许大于 2.5，含水率控制在 5%~7%，含泥量不准许大于 3%；

- d) 粗骨料采用坚硬耐久的卵石或碎石，粒径不准许大于 15 mm；当喷射钢纤维混凝土时，粒径不准许大于 10 mm；
- e) 骨料级配采用连续级配，含泥量按重量计不准许大于 1%；
- f) 按照 JGJ 63，水满足该要求。

7.3.11 混合料搅拌均匀，操作如下：

- a) 水泥与砂石重量比为 1:4~1:4.5；砂率为 45%~55%，水胶比为 0.4~0.45；速凝剂掺量通过试验确定；
- b) 水泥和速凝剂原材料称量允许偏差为±2%，砂石允许偏差为±3%；
- c) 运输和存放中严防受潮、受冻，大块石等杂物不应混入，装入喷射机前过筛，混合料随拌随用，存放时间不准许超过 20 min。

7.3.12 喷射混凝土前准备工作操作如下：

- a) 清理场地和清扫受喷面；
- b) 清除浮渣及堆积物后的开挖面尺寸满足要求；
- c) 埋设控制喷射混凝土厚度的标志；
- d) 机具设备进行试运转。

7.3.13 喷射水泥混凝土作业紧跟开挖工作面，操作如下：

- a) 喷射混凝土作业分段、分片、分层，由下而上依次进行，并先喷钢架与壁面间混凝土，然后再喷两钢架之间混凝土；
- b) 每次喷射厚度边墙为 70 mm~100 mm，拱顶为 40 mm~60 mm；
- c) 分层喷射时，在前一层混凝土终凝后进行，如终凝超 1 h 后再复喷时清洗前一喷层表面；
- d) 喷射混凝土回弹率边墙不准许大于 15%，拱部回弹率不准许大于 25%；挂钢筋网后，回弹率限制可放宽 5%；
- e) 爆破作业时，喷射混凝土终凝到下一循环爆破间隔时间不准许小于 3 h；
- f) 喷射混凝土表面平整度满足防水层对基面的平整度要求。

7.3.14 喷射混凝土终凝 2 h 后养护，养护时间不准许少于 14 d。当气温低于 5 ℃时，不喷水养护。

7.3.15 喷射混凝土施工区气温和混合料进入喷射机温度均不准许低于 5 ℃。喷射混凝土低于规定强度的 40% 前不应受冻。

7.3.16 同一配合比，每 20 m 拱和墙各取两组喷射混凝土抗压强度试件。

7.3.17 初期支护壁后回填注浆操作如下：

- a) 注浆管进入初期支护背后 400 mm~500 mm；
- b) 注浆管纵向间距为 2 m~4 m，拱部环向间距为 2 m，边墙环向间距为 3 m，呈梅花形布置；
- c) 注浆采用水泥浆液、水泥砂浆或掺有石灰、黏土、粉煤灰等的水泥浆液；
- d) 初支背后注浆分两次进行：第一次注浆为低压注浆，距开挖面 3 m~5 m，注浆压力为 0.1 MPa~0.3 MPa，以控制浆液从开挖面溢出；第二次注浆为饱和压浆，距离开挖面 8 m~10 m，注浆压力为 0.5 MPa；
- e) 初期支护壁后注浆完成后，检查壁后注浆密实情况，若存在空洞及时进行填充注浆处理。

7.4 二次衬砌施工步骤

7.4.1 隧道二次衬砌施工时，其隧道中线、高程、断面和尺寸符合要求，防水层验收合格。

7.4.2 墙体水平施工缝避开结构受力较大的部位；拱部及仰拱均不留置纵向施工缝。

7.4.3 二衬拱盖法拆撑纵向长度不准许超过 6 m，且同时需加强监控量测，根据监控量测结果反馈指导施工，及时调整拆撑分段长度；必要时在拆撑前考虑采取以锚代撑的方案，确保拱部安全。

7.4.4 浇筑采用泵送，进场检查坍落度，运输途中或现场不加减水剂和水。

7.4.5 钢筋加工和安装操作如下:

- a) 环向钢筋接头位置在同一水平断面内钢筋接头数量不准许超过总数量的 50%;
- b) 环向钢筋和迎水面纵向钢筋作业面不采用焊接连接, 以免破坏防水层;
- c) 底板和侧墙的环向、纵向钢筋交叉点可间隔绑扎; 拱部全部绑扎;
- d) 钢筋保护层垫块使用同标号砂浆垫块或专用垫块, 保护层厚度按要求留置。

7.4.6 模板台车进行专项设计, 操作如下:

- a) 台车模板满足隧道轮廓线尺寸要求, 刚度和强度满足浇筑混凝土受力要求;
- b) 满足移动和施工设备、材料、人员通过的需求;
- c) 台车长度根据隧道曲线确定, 不准许大于 12 m;
- d) 台车根据其长度和浇筑方式设置浇筑口和混凝土输送管接口装置;
- e) 经试拼装验收合格后方可使用。

7.4.7 模板安装操作如下:

- a) 仰拱拱脚吊模安装前测放控制线, 横向支撑垂直隧道轴线, 安装牢固;
- b) 模板台车校正模板与隧道轮廓相吻合后, 方可锁定台车;
- c) 拼装式模板, 墙、拱一体支模时, 在墙体模板固定后, 再支拱部模板; 拱部预留沉落量 10 mm~30 mm;
- d) 模板安装前, 钢筋和防水验收合格;
- e) 拱顶设置浇筑口时, 预留回填注浆孔。

7.4.8 二次衬砌模板拆除操作如下:

- a) 不承受围岩压力时, 混凝土强度达到 5.0 MPa;
- b) 承受围岩压力时, 符合相关文件要求。

7.4.9 混凝土浇筑前将浇筑面清理干净, 并洒水湿润; 模板脱模剂涂刷均匀。

7.4.10 混凝土浇筑操作如下:

- a) 混凝土采用输送泵输送, 坍落度为 150 mm~180 mm;
- b) 两侧墙体同时浇筑时, 分层对称浇筑, 每层厚度为 500 mm;
- c) 拱墙一体浇筑时, 混凝土浇筑至拱墙交界处, 间歇 1 h~1.5 h 后方可继续浇筑拱部混凝土;
- d) 拱部混凝土浇筑结束前, 输送泵保压 3 min;
- e) 墙体与拱部分别浇筑时, 墙体浇筑采用插入式振捣器振捣; 墙体与拱部一体浇筑时, 采用模板外挂式振捣器配合人工振捣; 振捣不应触及防水层、钢筋、预埋件、封端模板。
- f) 二衬拱盖法施工: 墙体与拱部分别浇筑时, 墙体采用微膨胀混凝土。

7.4.11 仰拱混凝土强度达到 5 MPa 后人员方可通行, 达到规定强度的 100% 后车辆方可通行。

7.4.12 二衬拱盖法拱部与后浇侧墙接口处施工缝操作如下:

- a) 施工缝接头设置“L”型接头;
- b) 施工缝后期采用填充法处理, 即在下部混凝土浇筑到距施工缝 100 mm~150 mm 时, 清除浮浆, 再用同标号的无收缩混凝土回填;
- c) 做好施工缝处的防水材料甩茬、施工过程中的保护以及后期的搭接处理。

7.4.13 二次衬砌混凝土施工完成后, 普查混凝土浇筑质量, 发现问题及时处理。

7.4.14 二衬背后进行充填注浆, 操作如下:

- a) 拱顶按纵向间距每隔 3 m 预埋一根Φ32 注浆管, 长度等于衬砌厚度加上 20 cm(外露), 外露端有连接管路的装置;
- b) 在衬砌混凝土强度达到设计强度 100%方可进行;
- c) 每一个注浆段的结束标准采用注浆量和注浆压力双控指标;
- d) 注浆结束后, 切除预埋的Φ32 注浆管, 并采取修补措施。

7.5 超前支护与加固施工步骤

7.5.1 拱盖法隧道穿越断层、破碎带、软弱围岩，拱部局部位于土层或富水等地段时，根据围岩情况、施工方法、周边环境等，选择一种或多种辅助施工措施。

7.5.2 超前支护措施主要有超前锚杆、超前小导管、超前管棚、掌子面超前锚杆等。

7.5.3 超前管棚可用于浅埋段、软弱围岩或断层破碎带、地表有重要建（构）筑物等地段。

7.5.4 超前锚杆可用于开挖临空后可能存在剥落或局部坍塌的软弱围岩及缓倾岩层地段。

7.5.5 超前小导管可用于自稳时间短的软弱破碎带或浅埋、偏压等地段。

7.5.6 超前小导管和管棚的加工制作操作如下：

- a) 钢管直顺，规格、型号、壁厚符合相关要求；
- b) 小导管和管棚的入岩部分打孔呈梅花形布置；
- c) 小导管锤击打入时，其尾部补强，前端加工成尖锥形；
- d) 管棚钢管纵向连接丝扣长度不准许小于 150 mm，管箍长度不准许小于 200 mm；管箍连接后不应有外露丝扣。

7.5.7 管棚施工前将工作面封闭严密、牢固，清理干净，成孔操作如下：

- a) 钻孔的外插角允许偏差为 1°；
- b) 管棚施工前先施工导向墙，其上安装管棚导向钢管，待导向墙混凝土达到规定强度的 75% 后，方可进行管棚孔钻孔作业；
- c) 钻孔由高孔位向低孔位进行；
- d) 钻孔孔径比钢管直径大 30 mm~40 mm；
- e) 开始钻孔时低速低压，遇卡钻、塌孔时注浆后重钻；钻进过程中测量钢管的偏斜度；
- f) 钻孔验收合格后及时安装管棚钢管，其接长时连接牢固。

7.5.8 超前小导管在喷射混凝土完成后及时施工，操作如下：

- a) 小导管采用锤击或钻机顶入时，其埋入长度不小于管长的 90%；
- b) 采用钻孔施工时，其孔深大于导管长度；成孔后立即安装小导管；
- c) 杆体安装后外插角允许偏差为 1°；
- d) 施工过程中不应扰动已安装好的钢拱架。

7.5.9 超前小导管和管棚注浆操作如下：

- a) 管棚注浆浆液采用水泥或水泥砂浆，其水泥浆的水灰比为 0.5:1，水泥砂浆配合比为 1:0.5~1:3；
- b) 超前小导管注浆选用水泥浆、水泥砂浆或水泥-水玻璃双液浆；水泥浆的水灰比为 0.5:1，水泥砂浆配合比为 1:1~1:2，水泥-水玻璃双液浆结合现场情况试配确定；
- c) 注浆浆液充满钢管及周围的空隙并密实，其注浆量和压力根据试验确定。

7.5.10 地层加固措施采用地表注浆、地表竖向旋喷、洞内帷幕注浆等。

7.5.11 隧道穿越软弱围岩地段、富水断层破碎带地段、涌水严重地段、涌泥或塌方严重等地段可采用注浆法加固岩体，提高围岩强度和自稳能力。

7.5.12 当加固地层范围埋深较大，且无地面注浆条件时，采用洞内预注浆。

7.5.13 当采用注浆加固方案时，操作如下：

- a) 注浆材料采用水泥单浆液，当地层中涌水量较大流动性较强时，采用水泥-水玻璃双浆液对注浆范围外轮廓进行封闭；
- b) 加固范围为开挖轮廓线外不小于 3 m；
- c) 根据注浆范围、注浆长度、浆液材料、扩散半径以及开挖工法等条件布置注浆孔，布控原则是使各注浆孔浆液扩散范围相互重叠，避免出现“盲区”；

- d) 注浆单孔扩散半径根据注浆压力、浆液材料、地层渗透系数等确定，采用工程类比、现场试验等确定；
- e) 注浆孔间距为单孔浆液扩散半径的1.4~1.7倍；
- f) 注浆压力（终压值）参考值为静水压力值的2~3倍；
- g) 采用“量压双控”作为注浆结束标准；
- h) 注浆施工前选择类似地层进行现场注浆试验，注浆工艺、注浆参数、浆液类型、浆液配合比等以现场试验确定的参数为准；
- i) 注浆施工完成后，对注浆效果进行检查；经检查确认注浆加固体强度达到要求后方可进行开挖，开挖过程中结合周边地层出水点及监测情况，考虑补浆措施以达到安全施工要求。

8 防水施工

8.1 一般规定

- 8.1.1 拱盖法隧道的防水方式分为全包型结构防水方式和排水型结构防水方式。
- 8.1.2 城市轨道交通车站主体结构、出入口通道及机电设备集中部位防水等级为一级，结构不允许渗水，结构表面无湿渍。
- 8.1.3 防水工程施工前，通过图纸会审，掌握结构主体及细部构造的防水要求，施工单位编制防水工程专项施工方案，经监理单位或建设单位审查批准后执行。

8.2 全包型结构施工步骤

- 8.2.1 拱盖法隧道的防水方式和衬砌结构形式根据围岩条件、地下水埋藏、径流条件以及地貌地形特点等综合确定，优先采用全包型结构防水。
- 8.2.2 防水体系包括混凝土自防水、附加防水层防水、接缝和节点防水，按表1选用。

表1 防水设防要求

工程部位		衬砌结构							内衬砌施工缝						内衬砌变形缝			
防水措施		防水混凝土	防水卷材	防水涂料	塑料防水板	膨润土防水材料	防水砂浆	金属板	遇水膨胀止水条或止水胶	外贴式止水带	中埋式止水带	防水密封材料	水泥基渗透结晶型防水涂料	预埋注浆管	中埋式止水带	外贴式止水带	可卸式止水带	防水密封材料
防水等级	一级	必选	选一种至两种							选一种至两种						必选	选一种至两种	
	二级	应选	选一种							选一种						应选	选一种	

- 8.2.3 按照GB 50108、GB 50208、GB/T 50476规定，混凝土自防水符合相关要求。
- 8.2.4 按照JC 1066的规定，防水材料及其配套材料不准许对周围环境造成污染。
- 8.2.5 处于侵蚀性介质中的工程采用的防水混凝土、防水砂浆、防水卷材、防水涂料等材料具备耐侵蚀性能。

8.3 排水型结构施工步骤

- 8.3.1 当结构所处地质及地面环境同时满足以下要求时，可采用排水型结构：
- a) I~III级围岩段且围岩裂隙、节理不甚发育，透水系数小，水量小；

- b) 地下结构埋深较深，水压较大，由二衬结构全部承受时构件厚度过大；
- c) 无地下水腐蚀性问题或地下水为轻微腐蚀性，排水不引起地面及周边建（构）筑物沉降、不会引起地面植被破坏，满足环境保护的要求；
- d) 结构所在地层无长大断层破碎带，地下水不与地表水或其他区域地下水连通。

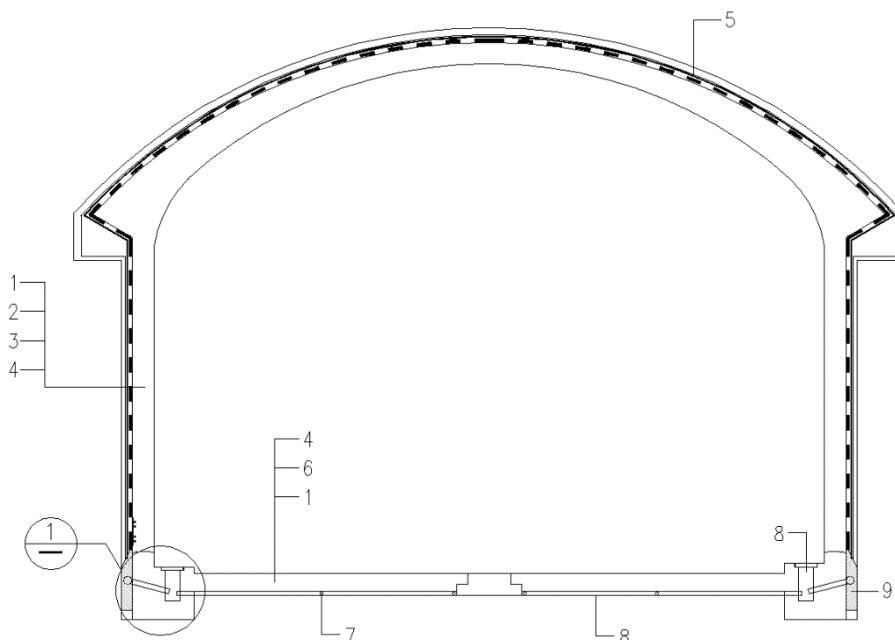
8.3.2 对于排水型结构，遵循“以堵为主，限量排放，刚柔结合，多道防线，因地制宜，综合治理”的原则。

8.3.3 采用排水型结构的拱盖法隧道总涌水量小于 $0.2 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$ 。

8.3.4 排水型结构在全包防水基础上采用限量排水，除仰拱以外部分结构采用 8.2 相关防水要求。

8.3.5 排水系统的组成包括：环向排水管、纵向排水管、横向导水管、排水沟等，形成汇集、流径和排出等完整的排水系统。

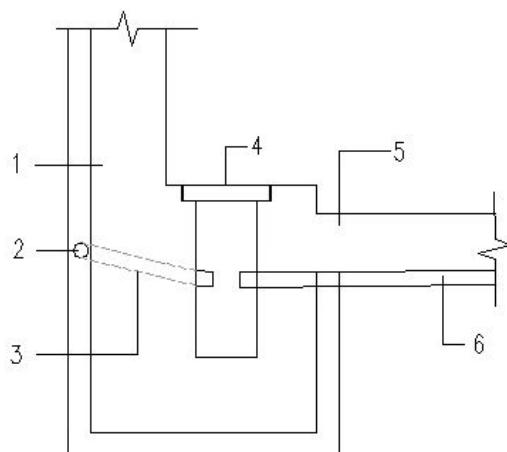
8.3.6 排水系统构造按图 7 设置，集水坑排水构造按图 8 设置。



标引序号说明：

- 1——初衬喷射混凝土；
- 2——防水层保护层；
- 3——防水层；
- 4——二衬模筑混凝土；
- 5——环向排水装置（位于防水层外侧）；
- 6——垫层（设纵向排水管）；
- 7——纵向排水管；
- 8——排水沟；
- 9——盲沟反滤层。

图7 排水构造图



标引序号说明:

- 1——侧墙;
- 2——纵向排水管;
- 3——横向导水管;
- 4——水沟盖板;
- 5——底板;
- 6——横向排水管。

图8 集水坑排水构造详图

8.3.7 保证排水系统的可维护性，排水盲管等均满足高压冲洗的力学性能指标。

9 施工监测

9.1 一般规定

9.1.1 施工期间的工程监测为验证设计、施工及环境保护等方案的安全性和合理性，优化设计和施工参数，分析和预测工程结构和周边环境的安全状态及其发展趋势，实施信息化施工等提供资料。

9.1.2 工程监测方案编制前收集并分析水文气象资料、岩土工程勘察报告、周边环境调查报告、安全风险评估报告及施工方案等相关资料，并进行现场踏勘。

9.1.3 工程监测方案根据工程的施工特点，在分析研究工程风险及影响工程安全的关键部位和关键工序的基础上，有针对性地进行编制，必要时编制专项监测方案。

9.1.4 根据隧道埋深和断面尺寸、施工工法、支护结构形式、地质条件、周边环境条件等综合确定工程监测范围，并包括主要影响区和次要影响区。爆破振动的监测范围根据工程实际情况通过爆破试验确定。

9.1.5 拱盖法隧道的自身风险等级为一级，采用拱盖法施工的隧道根据支护结构发生变形或破坏、岩土体失稳等的可能性和后果的严重程度、隧道埋深和断面尺寸等情况降低监测等级。

9.1.6 拱盖法隧道的工程监测等级为一级，可根据当地经验结合地质条件复杂程度进行调整。

9.2 监测项目

9.2.1 拱盖法隧道和周围岩土体监测项目根据表2确定。

表2 监控量测项目

类别	监测项目
必测项目	初期支护结构拱顶沉降
	初期支护结构底板竖向位移
	初期支护结构净空收敛
	临时竖向支撑竖向位移
	拱脚竖向位移
	地表沉降
	地下水位
选测项目	临时竖向支撑倾斜
	临时竖向支撑应力
	初期支护结构、二次衬砌应力
	土体深层水平位移
	土体分层竖向位移
	围岩压力

9.2.2 工程邻近或穿越岩溶、断裂带等不良地质条件，或施工扰动引起周围岩土体物理力学性质发生较大变化，并对支护结构、周边环境或施工可能造成危害时，结合工程实际选择岩土体监测项目。

9.2.3 采用钻爆法施工时，对爆破振动影响范围内的建（构）筑物、桥梁等高风险环境进行振动速度或加速度监测。

9.3 监测点布置施工步骤

9.3.1 初期支护结构拱顶沉降、净空收敛监测断面及监测点布设操作如下：

- a) 初期支护结构拱顶沉降、净空收敛监测布设垂直于隧道轴线的横向监测断面，监测断面间距为5 m~10 m；
- b) 监测点在隧道拱顶、两侧拱脚处或拱腰处布设，拱顶的沉降监测点兼作净空收敛监测点，净空收敛测线为1条~3条；
- c) 分部开挖施工的每个导洞均布设横向监测断面；
- d) 监测点在初期支护结构完成后及时布设。

9.3.2 初期支护结构底板竖向位移监测点布设操作如下：

- a) 监测点布设在初期支护结构底板的中部或两侧；
- b) 监测点的布设位置与拱顶沉降监测点对布设。

9.3.3 拱盖法的拱脚竖向位移监测点布设操作如下：

- a) 周围岩土体存在软弱土层时，布设隧道拱脚竖向位移监测点；
- b) 拱脚竖向位移监测点与初期支护结构拱顶沉降监测共同组成监测断面。

9.3.4 围岩压力、初期支护结构应力、二次衬砌应力监测断面及监测点布设操作如下：

- a) 在地质条件复杂或应力变化较大的部位布设监测断面时，应力监测断面与净空收敛监测断面处于同一位置；
- b) 监测点布设在拱顶、拱脚、墙中、墙脚、仰拱中部等部位，监测断面上每个监测项目不准许小于5个监测点；
- c) 需拆除竖向初期支护结构的部位根据需要布设监测点。

9.3.5 周边地表沉降监测断面及监测点布设操作如下：

- a) 监测点沿每个隧道或分部开挖导洞的轴线上方地表布设，监测点间距为5 m~10 m；
- b) 根据周边环境和地质条件，沿地表布设垂直于隧道轴线的横向监测断面，监测断面间距为10 m~50 m；
- c) 横向监测断面的监测点数量为7个~11个，且主要影响区的监测点间距为3 m~5 m，次要影响区的监测点间距为5 m~10 m。

9.3.6 按照GB 50911的规定综合确定周边环境监测点的布设位置和数量根据环境对象的类型和特征、环境风险等级、所处工程影响分区、监测项目及监测方法，并满足反映环境对象变化规律和分析环境对象安全状态的要求。

9.3.7 按照GB 6722的有关规定来确定爆破振动监测点的布设及要求，监测建（构）筑物不同高度的振动时，从基础到顶部的不同高度部位布设监测点。

9.4 监测频率施工步骤

9.4.1 根据工程筹划、施工进度等情况，结合监测对象和监测项目的特点、工程地质及水文地质条件和当地工程经验等来综合确定监测频率。

9.4.2 施工降水、岩土体注浆加固等工程措施对周边环境产生影响时，根据环境的重要性和预测的影响程度确定监测频率。

9.4.3 当遇到监测数据异常、地质条件突变等特殊情况时，提高监测频率。

9.4.4 工程监测贯穿工程施工全过程，满足下列条件时，可结束监测工作，操作如下：

- a) 二次衬砌施工后，可结束支护结构的监测工作；
- b) 支护结构监测结束后，且周围岩土体和周边环境变形趋于稳定时，可结束监测工作；
- c) 满足设计要求结束监测工作的条件。

9.4.5 施工过程中初期支护结构、周边岩土体和周边环境的监测频率可按表3确定。当拆除临时支撑时增大监测频率；监测数据趋于稳定后，监测频率为1次/（15 d~30 d）。

表3 监测频率表

监测部位	监测对象	开挖面至监测点或监测断面的距离	监测频率
开挖面前方	周围岩土体和 周边环境	$2B < L \leq 5B$	1次/2d
		$L \leq 2B$	1次/1d
开挖面后方	初期支护结构、周围 岩土体和周边环境	$L \leq 1B$	(1~2次)/1d
		$1B < L \leq 2B$	1次/1d
		$2B < L \leq 5B$	1次/2d
		$L > 5B$	1次/(3d~7d)
		注：B——开挖宽度（m），L——开挖面至监测点或监测断面的水平距离（m）。	

9.4.6 根据水文地质条件复杂程度、施工工况、地下水对工程的影响程度以及地下水控制要求等确定地下水位监测频率，监测频率为1次/（1d~2d）。

9.4.7 钻爆法施工首次爆破时，对所需监测的周边环境对象均进行爆破振动监测，以后根据第一次爆破监测结果并结合环境对象特点确定监测频率。重要建构（筑）物等高风险环境对象，每次爆破均进行监测。

9.5 监测项目控制值和预警施工步骤

9.5.1 根据工程特点、监测项目控制值、当地施工经验等制定监测预警等级和预警标准。

- 9.5.2 根据监测预警等级和预警标准建立监测预警管理制度，包括不同预警等级的警情报送对象、时间、方式和流程等。当监测数据达到预警标准时，进行警情报送。
- 9.5.3 现场巡查过程中发现警情时，根据警情紧急程度、发展趋势和造成后果的严重程度按预警管理制度进行警情报送。
- 9.5.4 监测项目控制值满足地下工程结构安全及周边环境保护的要求。
- 9.5.5 支护结构变形、地表沉降控制值根据工程地质条件、设计参数、工程监测等级、周边环境条件及当地工程经验等确定。
- 9.5.6 在充分调查分析的基础上，按照 GB 50911 的规定及当地工程经验确定周边环境监测控制值。
-