

ICSxx

CCSxx

团 体 标 准

T/CCTASXXXX—20xx

轨道交通工程拱盖法技术规范

Technical standard for arch cover method in rail transit engineering

征求意见稿

(完成时间：2024年4月)

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

中国交通运输协会 发布

目次

前	言	1
1	范围	2
2	规范性引用文件	2
3	术语和定义	2
4	基本规定	3
5	工程勘察	4
5.1	一般规定	4
5.2	勘探点布置和其他要求	4
6	材料	5
6.1	一般规定	5
6.2	材料具体要求	6
7	拱盖法地下工程设计	6
7.1	一般规定	6
7.2	结构计算	7
7.3	拱盖结构设计	8
7.4	拱脚部位设计	8
7.5	下部结构设计	8
7.6	附属开洞结构设计	9
7.7	防水	9
8	拱盖法地下工程施工	10
8.1	一般规定	10
8.2	拱盖形成前的施工	10
8.3	拱盖形成后的施工	11
9	风险分级和控制	11
9.1	一般规定	12
9.2	风险分级和控制	12
10	工程监测	14
10.1	一般规定	14
10.2	监测对象及范围	14
10.3	监测项目	15
10.4	监测点布设	15
10.5	监测频率	16
10.6	监测控制值	16

11 工程验收和质量控制	17
附录 A	18
附录 B	20

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这些专利的责任。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：广州地铁设计研究院股份有限公司、中铁(广州)投资发展有限公司、广州地铁建设管理有限公司、中铁隧道局集团有限公司、中铁十六局集团有限公司、中铁第六勘察设计院集团有限公司、中铁四局集团有限公司、中铁上海局集团有限公司、中铁十局集团有限公司、重庆市轨道交通设计研究院有限责任公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司。

本文件主要起草人：农兴中、徐文田、林 珊、孙 菁、罗 旭、王明敏、裴行凯、李慧、魏晨亮、黄辉、陈建党、何列、王阿龙、杨旺兴、张士强、徐宁飞、姜宝臣、朱静园、唐宏伟、李进、彭辉、王科甫、周捷、成志银、张天宇。

轨道交通工程拱盖法技术规范

1 范围

本文件规定了轨道交通工程拱盖法的勘察设计、材料、施工、风险控制、监测、质量控制与验收等内容。

本文件适用于轨道交通工程中采用拱盖法进行施工的结构，其他工程可参考使用。

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。

GB50157 地铁设计规范
GB/T 50299 地下铁道工程施工质量验收标准
GB 50307 城市轨道交通工程岩土工程勘察规范
GB 50652 城市轨道交通地下工程建设风险管理规范
GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
GB/T 51310 地下铁道工程施工标准
GB55002 建筑与市政工程抗震通用规范
GB55030 建筑与市政工程防水通用规范
JTG3370.1 公路隧道设计规范第一册土建工程
TB 10003 铁路隧道设计规范

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

拱盖法是在明挖法、盖挖法、洞桩法和传统暗挖法基础上，衍生创建的暗挖施工方法，其核心原理是充分利用下覆围岩自身的承载能力和稳定性或采用支护措施后能够确保围岩稳定，在不爆破或弱爆破的条件下，先施工拱顶初支或二衬结构，通过设置大拱脚将拱部初支或二衬结构支撑于两侧稳定基岩上，形成拱盖结构，在拱盖结构的保护下分部下挖，并逆作或顺作施工主体及内部结构。根据拱盖的形成方式，拱盖法结构可分为常规拱盖法和多导洞扣拱

拱盖法；根据拱盖承受主要荷载的类型，拱盖法结构可以分为单层初支拱盖法、双层初支拱盖法和二衬拱盖法。

3.2

常规拱盖法 conventional arch cover method

常规拱盖法的拱盖形成方式可采用台阶法、CD 法、CRD 法、双侧壁导坑法或中洞法等。

3.3

多导洞扣拱拱盖法 multi guide hole arch cover method

多导洞扣拱拱盖法的拱盖形成方式借鉴了洞桩法的小导洞和扣拱理念，化大跨为小跨。

3.4

单层初支拱盖法 single layer primary support arch cover method

单层初支拱盖法的拱盖结构仅由一层初支构成，一般用于地层较好且周边环境较简单的地段。

3.5

双层初支拱盖法 double layer primary support arch cover method

根据拱盖承受主要荷载的类型，拱盖法结构可以分为单层初支拱盖法、双层初支拱盖法和二衬拱盖法。双层初支拱盖法的拱盖结构由两层初支复合而成，第二层初支施工时一般不拆除临时支护，两层初支共同承受拱顶荷载。

3.6

二衬拱盖法 secondary lining arch cover method

根据拱盖承受主要荷载的类型，拱盖法结构可以分为单层初支拱盖法、双层初支拱盖法和二衬拱盖法。二衬拱盖法的拱盖结构包括初支和二衬，其中二衬是主要的承载结构。

3.7

拱脚 arch foot

初支拱盖或二衬拱盖底部为增大拱盖基底受力面积所设计的扩大截面面积的支座。

4 基本规定

4.1 拱盖法工程的应用范围，应根据工程地质条件、水文地质条件、地下结构类型、周边环境、开挖深度、施工条件等因素，合理选择。

4.2 拱盖法工程设计前应对场地进行岩土工程勘察，对其周边相邻建（构）筑物、地下管线等进行调查，取得相关技术资料。

4.3 拱盖法工程的设计使用年限应为 100 年。

4.4 拱盖法工程设计应根据施工过程中的超前地质预报和现场揭示地质、监测信息开展信息化设计。

4.5 拱盖法工程施工前应根据相关技术资料核查周边相邻建（构）筑物、地下管线等情况，进行设计条件复核以及风险辨识和评估。

4.6 拱盖法施工和监测过程应严格遵循“明地质、管超前、严注浆、弱爆破、短开挖、强支护、快封闭、勤量测、控变形”二十七字方针，全过程坚持信息化施工。

4.7 拱盖法工程施工必须按照有关规定制定应急预案、进行应急演练、配备应急队伍和应急物资。

4.8 采用拱盖法施工的隧道工程设计、施工及验收除应符合本规范规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

5 工程勘察

5.1 一般规定

5.1.1 采用拱盖法施工修筑地下工程时，岩土工程勘察除符合国家及行业标准的相关规定外，尚应根据拱盖法施工工法特点，根据本章的相应要求，为设计和施工提供所需的岩土工程资料。

5.1.2 各勘察阶段均应针对拱盖法施工特点开展针对性的勘察工作，明确拱脚部位地基承载力、岩石强度以及侧墙稳定性评价，并针对拱盖法的适用性提出建议，满足相应阶段设计施工深度的要求。原位测试、室内试验方法及所提供的的岩土参数应结合施工方法、辅助措施的特点综合确定。

5.1.3 应根据区域地质条件、工程结构类型和拱盖法特点，合理布置勘察工作量。当仅通过钻探无法充分查明场地的地质条件，或局部钻探施工受限无法开展时，应开展物探和钻探相结合的综合勘察。勘察时，应通过主动协调场地、采用小型钻探设备等手段，解决作业场地条件的限制，严格按照钻孔布置方案实施勘察。

5.1.4 污染土、软土、岩溶、采空区、孤石等勘察应执行《城市轨道交通工程岩土工程勘察规范》GB 50307 相关要求。

5.2 勘探点布置和其他要求

5.2.1 初步勘察阶段勘探点宜沿轨道交通车站或区间主体结构纵向轮廓线布置成两排，各排相邻勘探点间距可按表 1 选取，每个车站或区间的勘探点不宜少于 6 个。

表 1 初步勘察阶段勘探点间距

场地复杂程度	复杂场地	中等复杂场地	简单场地
勘探点间距 (m)	30-45	45-60	60-90

5.2.2 详细勘察阶段勘探点的平面布置应符合下列规定：

1) 沿结构纵向的勘探点间距应根据场地复杂程度、地下工程的埋深、工程周边环境条件等，按表 2 的规定综合确定。

表 2 详细勘察阶段勘探点间距

场地复杂程度	复杂场地	中等复杂场地	简单场地
勘探点间距 (m)	10-15	15-30	30-45

注：拱顶埋深大于 30m 且上覆岩层厚度大于开挖跨度时，勘探点间距可适当加大。

2) 车站或区间中部的勘探点应结合开挖跨度和是否设置立柱桩、条形基础等情况进行布置，开挖跨度大于 20m 时，勘探点纵剖面不宜少于 3 条。

3) 每个车站和区间不应少于 4 条代表性横剖面，对于岩土界面横坡较陡的地段、岩层走向与隧道走向夹角小于 30° 及可能存在偏压影响的地段，应适当加密横剖面。

5.2.3 当拱盖下方岩土采用掘进机等机械进行开挖时，应查明沿线的地质构造、断层破碎带及溶洞等，必要时进行岩石抗磨性试验，在含有大量石英或其他坚硬矿物的地层中，应做含量分析。

5.2.4 当拱盖下方岩土采用钻爆法施工时，应测试振动波传播速度和振幅衰减参数。

5.2.5 勘察应提供拱脚地基承载力和变形、岩石抗压强度、岩土侧压力系数等计算参数。

5.2.6 应根据施工工序、施工工况、断面形式，针对各开挖导洞、隧道结构等情况分阶段分部位进行综合围岩分级。同时，根据设计和施工情况，动态调整综合围岩分级。

6 材料

6.1 一般规定

6.1.1 混凝土的原材料和配比、最低强度等级、最大水胶比和单方混凝土的胶凝材料最小用量等应符合耐久性要求，满足抗裂、抗渗和抗侵蚀的需要。

6.1.2 喷射混凝土应优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥。

6.1.3 砂浆锚杆杆体材料宜采用 HRB400、HRB500 热轧带肋钢筋。

6.1.4 锚杆垫板材料宜采用 Q235 热轧钢板。

6.1.5 钢筋网材料可采用 HPB300 热轧光圆钢筋。

6.1.6 喷射钢纤维混凝土，其中的钢纤维宜采用普通碳素钢制成，并满足《铁路隧道设计规范》6.6.2 条的有关规定。

6.1.7 初期支护的钢架宜采用格栅钢架或型钢钢架。

6.1.8 喷射混凝土的材料性能可采用《铁路隧道设计规范》6.3.1 条的有关规定，钢筋和混凝土的材料性能可采用《混凝土结构设计规范》第 4 章的有关规定。

6.2 材料具体要求

6.2.1 一般环境条件下的混凝土强度等级和抗渗等级应符合表 3 的规定。

表 3 地下结构混凝土的强度等级和抗渗等级

施工方法	部位	砼强度等级	抗渗等级
拱盖法	喷射砼衬砌	≥C25	-
	现浇砼或钢筋砼衬砌	≥C35	≥P8

注：一般环境条件指现行国家标准《混凝土结构设计规范》环境类别中的一类和二 a 类。

6.2.2 普通钢筋混凝土和喷锚支护结构中的受力钢筋及预应力混凝土结构中的非预应力钢筋优先采用 HRB400 级钢筋（梁、柱受力钢筋应采用），也可采用 HPB300 级钢筋；预应力混凝土结构中的预应力钢筋，宜采用预应力钢绞线、钢丝、预应力螺纹钢筋。

6.2.3 有抗震要求的二衬结构受力普通钢筋（一般为隧道环向钢筋）应采用 HRB400E。

6.2.4 喷射混凝土宜采用高性能湿喷混凝土。设计应对喷射混凝土的早期强度提出明确要求。

6.2.5 系统锚管、锁脚锚管、超前小导管及初支背后压浆管可采用 $\varnothing 42$ 无缝钢管。当上部荷载较大、钢架角部尚未进入强风化岩层或变形控制严格时，应适当加强锁脚锚管。

6.2.6 水泥砂浆强度等级可选用 M20~M30。

7 拱盖法地下工程设计

7.1 一般规定

7.1.1 地下工程采用拱盖法应结合地质条件和周边环境条件进行充分论证，当隧道边墙稳定受顺层影响、边墙围岩完整性较破碎、边墙岩性为极软岩时，不宜选用拱盖法。

7.1.2 当开挖跨度大且周边环境复杂、地面沉降控制较严时，可采用传统拱盖法（中洞法）或多导洞扣拱拱盖法。

7.1.3 处于 I-III 级围岩，断面跨度不大于 30m 时，可选用单层初支拱盖法；处于 IV 级围岩的深埋隧道也可选用单层初支拱盖法；处于 IV 级浅埋隧道及 IV-VI 级围岩，开挖跨度大且周边

环境复杂、地面沉降控制较严时，可选用双层初支拱盖法，其他情况一般选用二衬拱盖法。对于多跨结构，一般采用二衬拱盖法。

7.2 结构计算

7.2.1 拱盖法暗挖结构设计应以理论计算为基础，结合工程类比法确定结构设计参数，并应采用信息化设计，根据现场监控量测反馈信息，经分析及时调整设计参数；

7.2.2 初期支护应按承受施工期间全部荷载的承载结构设计，有类似成熟经验或成功案例时，其设计参数以工程类比法为主确定，并通过理论计算进行验算，当无经验可以类比时，应通过理论分析确定设计参数。

7.2.3 二次衬砌应按与初期支护共同或单独承受使用期间全部荷载的承载结构设计，按“地层—结构”模型或“荷载—结构”模型进行初期支护结构内力和变形计算分析，并按“荷载—结构”模型进行二衬结构内力和变形计算分析，根据受力和构造要求配筋，最小配筋率不得小于构造配筋率。

7.2.4 初期支护或二次衬砌在施工过程中受力体系、荷载形式等有变化时，应根据构件的施作顺序及受力条件，按结构的实际受载过程进行分析，并计及结构体系变形的连续性。

7.2.5 应进行必要的数值模拟分析，以确定施工工序、施工参数和施工对周边环境的影响程度和范围，为工程设计、风险控制提供参考依据。

7.2.6 永久使用阶段应采用荷载-结构模型，根据初支和二衬之间的构造特点和应力传递特点，对二衬结构可按照承载能力极限状态和正常使用极限状态进行验算。

7.2.7 多导洞扣拱拱盖法的围岩压力，可参考《公路隧道设计规范》中的小净距隧道进行计算。

7.2.8 可根据地质条件和拱脚加固类型，考虑加固体与拱脚下方岩土共同承受拱脚推力。

7.2.9 拱盖法结构需验算拱脚下方围岩地基承载力。不设边桩且没有可靠的地区经验时，宜在拱脚处进行一侧临空的岩石地基承载力现场试验。

7.2.10 初支及二衬拱盖应通过计算模拟施工过程，根据拱盖施工顺序，取得变形和内力包络值，并对结构变形和受力进行验算。

7.2.11 对于冠梁和二衬拱盖接触面，需验算拱脚二衬牛腿的受力、局部受压承载力等。

7.2.12 拱盖完成后，需验算向下开挖过程水平受力以及边墙侧向稳定性。

7.2.13 对于有柱的拱盖结构，钢管柱计算长度应取顶纵梁底至桩顶的距离。钢管柱的承载力计算需充分考虑施工误差、非对称开挖等因素对钢管柱偏心距的影响。

7.3 拱盖结构设计

7.3.1 应根据拱脚处地层的地基承载力以及扣拱后向下开挖时边墙的稳定性和中柱的方案比选。

7.3.2 应根据围岩等级、隧道断面大小、风险控制等确定拱盖结构形式，可采用单层初支拱盖、双层初支拱盖、二衬拱盖等。

7.3.3 应根据地质条件、建筑功能需、地面沉降和周边环境保护要求等合理确定拱盖结构的矢跨比和埋深。拱部矢跨比应结合结构受力、安全、经济、建筑功能要求综合确定，一般宜取大值，但对于上软下硬地层，为使开挖轮廓尽量位于较硬地层，矢跨比可适当减小。

7.3.4 拱盖的形成，可采用 CD 法、CRD 法、双侧壁导坑法、中洞法或多导洞扣拱法。当采用多导洞扣拱法时，应控制扣拱的次数。导洞的空间尺寸，应结合地质条件并根据施工和永久使用情况综合考虑，满足使用要求情况下尽量减小开挖尺寸，导洞施工顺序建议“先边后中”。

7.3.5 拱盖结构宜采用对称形式当采用非对称结构时应验算非对称性作用对结构、拱脚围岩、内部结构等产生的不利影响。

7.3.6 对于拱盖施工，设计应明确具体的施工工序和临时支撑拆除范围。

7.4 拱脚部位设计

7.4.1 拱脚宜置于完整、稳定的基岩上，当拱脚岩层破碎或承载力不足时，应综合比选扩大拱脚、锚固、加桩等拱脚加固方案。

7.4.2 扩大拱脚与基底或纵边梁水平面宜设置倾角，倾角角度宜控制在 40° 以内。

7.4.3 拱脚开挖完成后及时封闭岩面，以避免岩层风化或遇水泥化。当拱脚部位岩体存在渗漏水的区域，应采用导管将地下水引出或注浆堵水，保证地下水不在拱脚部位汇集而降低岩体强度，并使岩体在天然强度状态下工作。

7.4.4 初支拱盖法扩大拱脚处钢架可采用变截面异形钢架。

7.4.5 初支拱盖法应加强初支钢架在扩大拱脚处的纵向连接，双层初支拱盖法的第二层初支宜采用模筑混凝土。

7.3.6 二衬拱盖施工完成前宜选择机械开挖；拱脚及其 1~2 倍宽度范围内宜采用非爆开挖。

7.3.7 当拱脚喷射混凝土较厚时，拱脚部位宜预留注浆管，并进行注浆填充密实。

7.5 下部结构设计

7.5.1 拱盖法结构完成拱部二衬后，继续向下开挖应进行边墙二衬逆作和顺作的方案比选，

当采用逆作法时应满足盖挖逆作法结构设计的基本原则和要求。

7.5.2 隧道下部边墙开挖支护应结合围岩地质条件、拱盖传力特性综合确定，可选用锚杆、支撑等支护方式，地下结构两侧边墙可选择不同的支护方案。当边墙围岩为较硬岩且岩石完整性为完整~较完整时，可考虑围岩自稳能力，进行支护设计。

7.5.3 隧道下部边墙开挖应随挖随支，竖向开挖高度不应超过边墙 1~2 排锚杆竖向间距。

7.5.4 拱盖法中间立柱宜采用钢管混凝土柱，中间立柱基础宜采用桩基础。

7.5.5 当采用边桩进行拱脚加固时，边桩应满足施工过程的承载力和变形要求，还应满足基坑开挖稳定性要求，应根据地质情况、水平和竖向受力要求确定合适的桩径、桩长和桩间距。在保证桩间土体稳定的前提下，宜采用大直径和大间距，桩间土一般采用挂网喷砼封闭。

7.5.6 拱盖法结构钢管柱上柱脚与顶纵梁的连接宜采用端承式，约束作用为铰接；钢管柱下柱脚与桩基础的连接宜采用插入式，约束作用为刚接。钢管柱内宜设置通长的构造钢筋。柱实施后需采取可靠的限位措施，如设置锁口装置、柱身素混凝土回填环等。

7.5.7 当二衬拱盖法采用逆作时，边墙底部可临时设置工字形楔体，避免边墙悬空。

7.5.8 侧壁 1~2 倍拱脚宽度范围内宜采用机械开挖。

7.6 附属开洞结构设计

7.6.1 附属结构开马头门前，需有可靠的加强措施，如施作拱梁、加强环梁、混凝土洞门加强等。必要时，应打设超前小导管等超前支护。附属结构与主体隧道接口处应设置二衬加强段，该加强段应采用机械开挖。

7.6.2 扣拱初支在节点部位应确保传力连续、可靠，扣拱初支应与中导洞初支内侧钢筋连接，扣拱初支在边导洞内外的钢筋应连续连接，且中导洞和边导洞在与扣拱初支连接部位需预留切割时的收口加强构造；边导洞内的扣拱初支应可靠锚固在冠梁中。

7.6.3 为了兼容扣拱节点后期连接的误差，导洞内预留扣拱节点可适当扩大，且应有可靠的加强钢筋，确保预留节点强度。

7.6.4 顶纵梁纵向在横通道位置需分段施工时，截断位置应避开剪力较大处。

7.6.5 拱盖法车站主体与附属接口处，建议将接口段主体二衬拱脚抬高并设置过梁。

7.6.6 当主体结构为初支状态开洞时，应加密附属接口处左右两侧主体结构钢架，并加密洞口上方主体结构初支钢架纵向连接筋。

7.7 防水

7.7.1 拱盖结构宜采用单拱形式，防止地下水聚集。

7.7.2 拱顶纵向施工缝位置，需在顶板中间设置钢板止水带，两侧各设置一道遇水膨胀止水条，在顶板迎水侧预埋可重复注浆管，在拱顶施工缝位置下方设置接水槽，接水槽内滴水通过落水管引排。

7.7.3 侧墙纵向施工缝位置，预留斜向坡口，迎水面坡口应低于背水面。需在侧墙中设置两道遇水膨胀止水条，在侧墙迎水侧预埋可重复注浆管。

7.7.4 顶纵梁顶部与导洞底净距大于 1m 时，可采用分次浇筑，即先浇筑顶纵梁和部分拱顶，在浇筑的结构顶部铺设防水层，再进行拱部混凝土回填；顶纵梁顶部与导洞底净距小于 1m 时，可先沿导洞铺设防水层，再一次浇筑顶纵梁和拱部空隙。

8 拱盖法地下工程施工

8.1 一般规定

8.1.1 拱盖法施工前应加强对周边建构筑物基础资料的调查和收集，应根据施工需要进行针对性的地质补勘。

8.1.2 对于进入开挖范围内的地质钻孔，施工前应对封孔情况进行检查，确保填充密实。

8.1.3 拱盖法施工应分阶段、分工序进行风险管控和监测数据管理。

8.1.4 施工过程中应根据设计要求和有关规定做好超前地质预报工作，条件困难时应采取多种措施和手段对地质情况进行综合研判。

8.2 拱盖形成前的施工

8.2.1 扣拱初支施做前，应完成中导洞与顶纵梁之间、边导洞扣拱初支上方的混凝土回填。回填区域可配置横向钢筋加强导洞初支顶部的整体性，并确保回填区域的密实度，同时尽量减小纵梁施工缝与导洞之间的缝隙宽度。

8.2.2 顶纵梁纵向在横通道位置分段施工，被截断梁底需有可靠的支顶措施，不宜悬挑。

8.2.3 中拱及边拱采用台阶法开挖时，上台阶土方开挖高度应尽量小，满足初支及二衬扣拱施工要求即可。下台阶土体应尽量保留，以平衡扣拱阶段产生的拱脚不平衡推力。如需提前开挖下台阶土体，必要时施作临时仰拱。

8.2.4 为了保证扣拱与导洞能够顺利连接，在导洞开挖过程中应严格控制每榀钢架的里程，后行导洞钢架必须与先行导洞钢架同步，同时做好预留接头钢架的保护工作。

8.2.5 对于三跨的结构形式，为消除中、边跨拱脚推力差对中柱产生的不利影响，一般中跨先行，边跨落后距离不宜小于 15m，在进行两侧边跨扣拱作业时还应注意同步性，两边跨开

挖面间距应小于 3m，以防止出现偏压现象。对于两跨的结构形式，拱顶位于岩层时，两边跨同步掘进，开挖面间距应小于 3m，拱顶位于土层时，根据相互影响分析确定边拱开挖面间距。

8.2.6 扣拱与导洞之间拱顶形成三角区域时，初支施工完成后，应加强该区域的初支背后注浆。

8.2.7 在拱部第二层初支或二衬施工之前，应尽量保留主体结构内部的初支结构。

8.2.8 二衬扣拱前，对顶纵梁可采用临时支撑、临时拉杆等措施进行变形控制；对中柱应采取可靠的限位防护措施，如放置锁口装置、中柱洞口素混凝土回填等。

8.2.9 拱盖二衬结构浇筑时，拱顶端头堵头板应埋设回填注浆管兼作排气管，混凝土应对称浇筑以免产生偏压，条件受限、振捣困难时应采用自密实混凝土。

8.2.10 拱部二衬封闭后，通过预埋的注浆管压注高强无收缩水泥浆液，注浆孔布置在拱顶，注浆压力根据埋深、水压力等因素综合确定。

8.2.11 拱脚附近土石方开挖时应注意保护拱脚下方及外侧围岩，开挖后严禁泡水，及时施工混凝土垫层或初支结构。拱脚地层需要进行加固时，应选择低振动等对围岩扰动较小的施工工艺。

8.3 拱盖形成后的施工

8.3.1 拱盖形成后，下方的土石方开挖应采用竖向分层、横向分块、纵向分段的方式进行。

8.3.2 当无中立柱时，下方的土石方宜采用先中部拉槽，后两侧开挖的方式，拉槽临时坡率应结合分层高度和岩石条件确定，一般可选择 1: 0.5~1: 1 的放坡坡率。有中立柱时，不应靠近钢管柱单边开挖，以免产生不平衡侧压力。

8.3.3 土石方开挖时应加强对拱脚下方围岩的保护，侧壁的支护措施和一次开挖高度应符合设计要求，必要时可采用临时支撑等措施。

8.3.4 采用逆作法施工时，中板结构宜采用矮支架法支模浇筑混凝土。侧墙下方与未开挖岩层的间隙可采用型钢进行临时支顶，减小拱脚受力。开挖高度较大的软岩地层，可采取中部拉槽提前施工部分内部结构等措施。

8.3.5 采用拱盖法施工的主体隧道两侧有对称布置的附属通道时，应避免同时开挖两个相对的附属通道，待一侧附属加强段初期支护完成后，方可开挖对侧附属通道。当围岩较差或隧道埋深较浅时，还应及时施作交叉口段二衬结构。

9 风险分级和控制

9.1 一般规定

9.1.1 轨道交通工程拱盖法安全风险管控必须遵循“安全第一、预防为主、综合治理”的基本方针。

9.1.2 拱盖法工程建设各阶段应编制安全风险管控文件和风险清单,清单应说明风险点名称、范围、风险描述、风险等级等,并提出重大安全风险的处置措施。

9.1.3 拱盖法工程建设应根据建设规模、地质条件、周边环境及可能造成的影响(危害)等因素,结合风险管控目标、技术经济水平等,进行风险分类,制定风险等级标准。

9.1.4 根据风险发生的可能性和风险损失,将拱盖法工程建设安全风险分为I、II、III、IV四个等级,其中I级风险最高,IV级风险最低。

9.2 风险分级和控制

9.2.1 拱盖法工程在拱盖形成之前,洞室开挖风险根据围岩级别与毛洞跨度进行分级,按表4确定。

表4 拱盖形成前开挖风险等级标准

围岩级别 毛洞跨度 B	I/II级围岩	III级围岩	IV级围岩	V级围岩	VI级围岩
$B \leq 6m$	IV	IV	III	II	I
$6m < B \leq 10m$	IV	III	III	II	I
$10m < B \leq 15m$	III	III	II	I	I
$B > 15m$	III	II	II	I	I

注:1、毛洞跨度 B 为拱盖法结构最终形成的拱部毛洞跨度,当拱部采用多个导洞分部开挖且导洞间距大于一倍洞径时, B 可按单个导洞的毛洞跨度计。

2、当采用小导洞法开挖拱部时,扣拱开挖阶段 B 可取扣拱开挖跨度。

3、当遇到以下情况时,可对本表进行相应的风险等级调整:

1) 当掌子面范围内不存在但隧道顶部或底部 3m 范围内存在富水砂层,或淤泥、淤泥质土,或断层破碎带,或溶(土)洞时,风险等级可直接确定为I级。

2) 当开挖过程中存在仰挖、俯挖、扩挖施工时,风险等级可上调一级。

3) 当设计采取措施对围岩进行地层加固后,风险等级可下调一级。

9.2.2 拱盖法工程在拱盖形成之后,继续向下开挖风险根据拱盖以下围岩级别与拱盖以下开挖深度进行分级,按表5确定。

表 5 拱盖形成后开挖风险等级标准

拱盖以下开挖深度 H	边墙支护形式	I/II级围岩	III级围岩	IV级围岩	V级围岩
H≤5m	逆作法	IV	IV	IV	IV
	内支撑	IV	IV	IV	III
	喷锚支护	IV	IV	III	II
5m<H≤10m	逆作法	IV	IV	III	III
	内支撑	IV	IV	III	II
	喷锚支护	IV	III	/	/
10m<H≤15m	逆作法	IV	IV	III	II
	内支撑	IV	III	II	II
	喷锚支护	III	II	/	/
H>15m	逆作法	IV	III	I	I
	内支撑	III	II	I	I
	喷锚支护	II	I	/	/

注：1、不考虑拱盖以下为 VI 级围岩的情况。

2、当拱盖以下开挖深度超过 5m，且围岩等级为 IV 级及以下时，边墙支护形式不应仅采用喷锚支护。

3、当遇到以下情况时，可对本表进行相应的风险等级调整：

- 1) 当围岩裂隙水发育时，风险等级可上调一级。
- 2) 当拱盖以下开挖宽度超过 30m，风险等级宜上调一级。
- 3) 当采取其他风险控制措施时，根据具体情况对风险等级进行评估。

9.2.3 拱盖法结构周边环境风险等级应根据周边环境设施重要性以及周边环境设施与工程之间的空间位置关系，按表 6 进行确定。周边环境设施重要性类别划分详见附录 A。

表 6 拱盖法施工对周边环境影响风险等级标准

重要性类别	水平距离	垂直距离		
		$0 \leq H < 3m$	$3m \leq H \leq 6m$	$H > 6m$
重要设施	$L < 0.5\alpha B$	I	II	II
	$0.5\alpha B \leq L < 1.5\alpha B$	II	II	III
	$1.5\alpha B \leq L \leq 2.5\alpha B$	III	III	IV
	$L > 2.5\alpha B$	IV	IV	IV
较重要设施	$L < 0.5\alpha B$	II	III	III
	$0.5\alpha B \leq L < 1.5\alpha B$	III	III	IV

	$L \geq 1.5\alpha B$	IV	IV	IV
一般设施	$L < 0.5\alpha B$	III	IV	IV
	$L \geq 0.5\alpha B$	IV	IV	IV

注：1、 L —拱盖法隧道外轮廓线与周边环境设施的水平投影最小距离， B —拱盖法结构外包跨度， H —隧道顶部与周边环境设施基础底部的垂直距离的绝对值。

2、 α 取值为0.8-1.2。当隧道顶部以上的最差地层为V、VI级围岩时， $\alpha=1.2$ ；为III、IV级围岩时， $\alpha=1.0$ ；为I、II级围岩时， $\alpha=0.8$ 。也可根据现场实际情况由工程建设各方共同判定，或通过专家论证后确认。

3、当隧道顶部与周边环境设施基础底部之间的最差地层为V、VI级围岩时，风险等级宜上调一级；为I、II级围岩时，风险等级可下调一级。

4、当采用二衬拱盖法或双层初支拱盖法施工时，拱盖形成且监测数据稳定后，风险等级可下调一级。

9.2.4 工程风险评估实施应先评估出原始风险等级，再通过建设各方共同判定或专家论证等方式，根据设计或施工风险处置措施可能达到的效果，将原始风险等级调整为剩余风险等级。

10 工程监测

10.1 一般规定

10.1.1 在施工阶段应对支护结构、周围岩土体及周边环境进行监测。

10.1.2 工程监测方案应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。

10.1.3 施工与监控量测应密切配合，监控量测工作应纳入施工工序进行管理，同时应尽量减少对施工的影响。

10.2 监测对象及范围

10.2.1 监测对象包括拱盖法地下工程的支护结构、周围岩土体及周边环境对象，支护结构主要包括拱盖法工程中的初期支护、临时支护、二次衬砌等。

10.2.2 监测范围应根据埋深，断面尺寸，施工工法、支护结构形式、地质条件和周边环境条件等综合考虑。一般情况下不应小于洞身中心线以外 $2H$ 和 $30m$ 的较大值；特殊地层或存在软弱地层（淤泥、淤泥质土、砂层）可取洞身中心线以外 $3H$ 和 $50m$ 的较大值。监测范围应同时考虑降水和预计的地面沉降大小及变化过程的影响。

10.2.3 采用爆破开挖岩土体的拱盖法地下工程，爆破振动的监测范围应根据工程实际情况通过爆破试验确定。

10.3 监测项目

10.3.1 工程监测项目应根据监测对象的特点、工程监测等级、工程影响分区、设计及施工的要求合理确定，并应反映监测对象的变化特征和安全状态。

10.3.2 工程监测等级宜根据拱盖法工程的自身风险等级、周边环境风险等级和地质条件复杂程度进行划分，并根据当地经验结合地质条件复杂程度进行调整，无当地经验时可按照下表划分。

表 7 工程监测等级

周边环境风险等级 工程自身风险等级	一级	二级	三级	四级
	一级	一级	一级	一级
二级	一级	二级	二级	二级
三级	一级	二级	三级	三级

10.3.3 各监测对象和项目应相互配套，满足设计、施工方案的要求，并形成有效、完整的监测体系。

10.3.4 拱盖法工程监测项目可参考附录 B 进行选取。

10.4 监测点布设

10.4.1 拱盖法地下工程的初期支护结构拱顶沉降、净空收敛监测断面及监测点布设应符合下列规定：

- 1) 初期支护结构拱顶沉降、净空收敛监测应布设垂直于隧道轴线的横向监测断面，监测断面间距宜为 5m~10m；
- 2) 监测点宜在隧道拱顶、两侧拱脚处（全断面开挖时）或拱腰处（半断面开挖时）布设，拱顶的沉降监测点可兼作净空收敛监测点，净空收敛测线宜为 1 条~3 条；
- 3) 分部开挖施工的每个导洞均应布设横向监测断面；
- 4) 监测点应在初期支护结构完成后及时布设。

10.4.2 拱盖法地下工程的拱脚竖向位移监测点布设应符合下列规定：

- 1) 在隧道周围岩土体存在裂隙或软弱夹层时，应布设隧道拱脚竖向位移监测点；
- 2) 隧道拱脚竖向位移监测点与初期支护结构拱顶沉降监测宜共同组成监测断面；

10.4.3 拱盖法地下工程二衬拱顶沉降，中柱沉降、倾斜及应力监测点布设应符合下列规定：

- 1) 所有中柱，与中柱位置对应的拱脚、二衬拱顶应进行沉降监测；
- 2) 应选择有代表性的中柱进行倾斜监测。

10.4.4 拱盖法地下工程的围岩压力、初支结构应力、二衬应力监测断面及监测点布设应符合下列规定：

- 1) 应力监测断面与沉降、净空收敛监测断面宜处于同一位置；
- 2) 监测点宜布设在拱顶、拱脚、墙中、墙脚、仰拱中部等部位；
- 3) 需拆除竖向初期支护结构的部位应根据需要布设监测点。

10.4.5 拱盖法地下工程的周围土体深层水平位移和分层竖向位移监测孔及监测点布设应符合下列规定：

- 1) 监测点水平间距宜取 30m~45m 并和地面沉降监测点处于同一断面；
- 2) 监测点与拱顶的竖向距离不宜小于 5m。

10.5 监测频率

10.5.1 监测频率应根据施工方法、施工进度、监测对象、监测项目、地质条件等情况和特点，并结合当地工程经验进行确定。

10.5.2 监测频率应使监测信息及时、系统地反映施工工况及监测对象的动态变化，并宜采取定时监测。

10.5.3 无特殊情况时，拱盖法工程施工中隧道初期支护结构、周围岩土体和周边环境的监测频率可按下表确定。

表 8 拱盖法工程监测频率表

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次~2次)/1d
		$1B < L \leq 2B$	1次/1d
		$2B < L \leq 5B$	1次/2d
		$L > 5B$	1次/(3d~7d)

10.6 监测控制值

10.6.1 拱盖法地下工程应根据施工工序分阶段提出监测控制值。

10.6.2 拱盖法地下工程支护结构变形、地表沉降控制值应根据工程地质条件、隧道设计参数、工程监测等级及当地工程经验等确定，当无地方经验时，可按下表确定。

表 9 支护结构变形监测项目控制值

监测项目及区域	累计值(mm)	变化速率(mm/d)
拱顶沉降	20~30	3
底板竖向位移	10	2
净空收敛	10	2
中柱竖向位移	10~20	2

表 10 地表沉降监测项目控制值

监测等级	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
一级	40~60	3
二级	50~70	4
三级	60~80	4

11 工程验收和质量控制

11.1 拱盖法工程建设各方应建立健全质量保证体系，对工程施工质量进行全过程控制，加强对进场检验及隐蔽工程、关键工序的质量验收。

11.2 工程施工质量验收应包括实物功能检查、外观检查、质量保证资料检查等内容，验收应形成记录，并签字确认。

11.3 拱盖法工程施工应采用先进、成熟、科学的检测手段对工程实体进行质量检测。

11.4 施工前应制定预防拱盖混凝土浇筑后开裂、防止拱脚下方岩层受扰动等专项方案。

附录 A

周边环境设施重要性分类

环境设施类别	周边环境设施重要性类别		
	重要设施	较重要设施	一般设施
轨道交通	轨道交通运营线路、高速铁路、铁路站场等	轨道交通建成线路、普通铁路、铁路专用线等	废弃的铁路专线等
文物	国家级、省级保护文物	市县级保护文物	-
军事设施	军事禁区、军事管理区	-	废弃的军事设施
桥梁	基础条件差的高架桥、立交桥、匝道桥等	基础条件好的高架桥、立交桥、匝道桥或人行天桥等	-
管线	管径>800mm 雨污水管、高压或管径> 600mm 中压燃气管、管径>600mm 自来水管、石油输送管、军用光缆、110kV 以上高压电缆、综合管廊或管沟等，其他使用时间超过 10 年的铸铁管，承插式接口混凝土管等	管径 300mm~800mm 雨污水管、中压或管径>600mm 低压燃气管、管径 300mm ~ 600mm 自来水管、10kV 以上高压电缆等	管径<300mm 雨污水管支管、低压燃气管、管径<300mm 自来水管、10kV 以下电缆，电信、通信、普通电力管沟等
道路	高速公路、主干道、快速路	交通流量大的次干道、支路等	次干道和支路、人行道等
其他地面建（构） 筑物	国家级或省级保护古建筑、国家城市标志性建筑、机场跑道及停机坪等	市县级保护古建筑，其他具有一定历史意义的建（构）筑物	一
	有人员活动、基础条件差的建（构）筑物、或特殊物品储放点（如民爆库房）	有人员活动、基础条件好的建（构）筑物，或无人人员活动、基础条件差的建（构）筑物	无人员活动的其他建（构）筑物

	油库、加油站、气罐、110kV 以上高压线塔，以及对沉降变形，振动特殊敏感的建筑（如有精密仪器设备的厂房、实验室等），烟囱、水塔、港口、码头、变电站（所）、核设施等高价工业建筑物	较高价值的工业建筑物	废弃的工业建筑物
	经专业机构鉴定损坏程度为严重损坏及以上的建（构）筑物，或违章加建房	经专业机构鉴定损坏程度为损坏及以上的建（构）筑物	—
其他地下构筑物	有人员活动的地下道路和交通隧道，地下商业街，地下人行过街通道，以及重要人防工程等	—	废弃的地下道路和交通隧道、地下商业街、地下人行过街通道等
水体	江，河，湖等大型地表水体，水体底部为淤泥，淤泥质土等软弱土层或与开挖面存在水力联系的大型水塘，河沟等	水体底部存在垫层或底部为黏土，岩层等自稳性较好的地层的一般水塘，河沟，常年水量大的人造箱涵或沟渠	常年水量较少的水塘、河沟、人造箱涵或沟渠
绿化和植物	受保护的挂牌古树	—	其他绿化及植物

附录 B

拱盖法工程监测项目表

序号	监测项目	工程监测等级		
		一级	二级	三级
1	初支拱顶沉降	A	A	A
2	初支底板竖向位移	A	B	B
3	初支净空收敛	A	A	A
4	初支拱脚竖向位移	B	B	B
5	中柱结构竖向位移	A	A	B
6	中柱结构水平位移	A	A	B
7	中柱结构倾斜	B	B	B
8	中柱结构应力	B	B	B
9	二衬拱顶沉降	A	A	A
10	初支钢架应力、初支/二衬接触应力	B	B	B
11	地表沉降	A	A	A
12	土体深层位移	A	B	B
13	土体分层竖向位移	A	A	B
14	围岩压力	B	B	B
15	地下水位	A	A	A

A-应测项目；B-选测项目