重庆市工程建设标准

明挖装配式拱形隧道结构技术标准

Technical standard for open cut prefabricated tunnel structure

DBJ50/T-538-2025

主编单位：中国建筑第七工程局有限公司

批准部门：重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期：2 0 2 6 年 3 月 1 日

2025 重 庆

重庆工程建设

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标〔2025〕49 号

重庆市住房和城乡建设委员会关于发布《明挖装配式拱形隧道结构技术标准》的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,重庆高新区建设局,万盛经开区住房城乡建设局、双桥经开区建设局、经开区生态环境建管局,有关单位:

现批准《明挖装配式拱形隧道结构技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T-538-2025,自 2026 年 3 月 1 日起施行。标准文本可在标准备案后登录重庆市住房和城乡建设技术发展中心官网免费下载。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,中国建筑第七工程局有限公司负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2025 年 12 月 8 日

重庆工程建设

重庆工程建设

前　言

根据重庆市城乡建设委员会《关于下达2023年度重庆市工程建设标准制定修订项目立项计划的通知》(渝建(2023)31号)文件要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结工程实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本标准。

本标准主要分8章,主要技术内容包括:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.材料;5.设计;6.生产与运输;7.现场施工;8.质量验收。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,中国建筑第七工程局有限公司负责具体技术内容的解释。在本标准执行过程中,请各单位注意收集资料,总结经验,并将有关意见和建议反馈给中国建筑第七工程局有限公司(地址:河南省郑州市经开区第十五大街267号中建七局大厦A座,联系电话:023-67788251,邮政编码:450048)。

重庆工程建设

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主 编 单 位：中国建筑第七工程局有限公司

参 编 单 位：重庆市住房和城乡建设工程质量安全总站
重庆市高新区建设局
重庆高新开发建设投资集团有限公司
重庆科学城城市建设集团有限公司
中建七局西南建设有限责任公司
重庆交通大学
中机中联工程有限公司
重庆大学
奉节县菜籽坝抽蓄清洁能源有限公司

主要起草人：鲁万卿　海大鹏　林　志　邵先国　卢来运
沈治宇　陈国清　周俊峰　宋祥林　杨海清
刁目广　南学飞　何齐鹏　王承林　朱海峰
杨超策　田　堃　詹启亮　李朝忠　刘成龙
熊康波　易晓彬　饶启斌　张　煜　田　为
项　笠　郑　杰　苏国旗　王　东　王鹏程
王　丹　邓长生　钱明华　罗　毓　孙英扩
杨　浩　王小强　许章隆　杨红运　李　鸿
刘　玉　骆　琦　张孝峰　安　旭

审 查 专 家：李英民　李信臻　黄　刚　魏登伦　刘　灿
肖了林　方　林

重庆市住房和城乡建设

目　次

1　总则 …… 1
2　术语和符号 …… 2
2.1　术语 …… 2
2.2　符号 …… 3
3　基本规定 …… 5
4　材料 …… 6
4.1　混凝土 …… 6
4.2　钢材 …… 7
4.3　接缝及防水材料 …… 8
5　设计 …… 10
5.1　一般规定 …… 10
5.2　结构设计 …… 10
5.3　抗震设计 …… 24
5.4　防水与防腐设计 …… 25
5.5　防火设计 …… 29
6　生产与运输 …… 33
6.1　一般规定 …… 33
6.2　模具 …… 33
6.3　钢筋骨架 …… 35
6.4　混凝土浇筑、脱模 …… 36
6.5　构件养护 …… 38
6.6　构件自检 …… 38
6.7　构件存放 …… 39
6.8　构件运输 …… 39

7 现场施工 …… 40
7.1 一般规定 …… 40
7.2 施工准备 …… 40
7.3 构件拼装 …… 41
7.4 防水施工 …… 42
7.5 设备与管线安装 …… 43
7.6 覆土回填 …… 43
8 质量验收 …… 44
8.1 一般规定 …… 44
8.2 分部分项验收 …… 44
8.3 主体结构工程验收 …… 46
8.4 结构实体检验 …… 47
8.5 验收内容 …… 48
附录 A 质量验收记录表 …… 57
附录 B 典型算例 …… 78
本标准用词说明 …… 88
引用标准名录 …… 89
条文说明 …… 91

重庆工程建设

Contents

1 General provisions ····· 1
2 Terms and symbols ····· 2
2.1 Terms ····· 2
2.2 Symbols ····· 3
3 Basic requirements ····· 5
4 Materials ····· 6
4.1 Concrete ····· 6
4.2 Steel ····· 7
4.3 Joints and waterproofing materials ····· 8
5 Design ····· 10
5.1 General provisions ····· 10
5.2 Structural design ····· 10
5.3 Seismic design ····· 24
5.4 Waterproof and anti-corrosion design ····· 25
5.5 Fire protection design ····· 29
6 Production and transportation ····· 33
6.1 General provisions ····· 33
6.2 Mold ····· 33
6.3 Reinforcement framework ····· 35
6.4 Concrete pouring and demoulding ····· 36
6.5 Component maintenance ····· 38
6.6 Component self-inspection ····· 38
6.7 Component storage ····· 39
6.8 Component transportation ····· 39

7 On-site construction ····· 40
7.1 General provisions ····· 40
7.2 Construction preparation ····· 40
7.3 Component assembly ····· 41
7.4 Waterproofing ····· 42
7.5 Installation of equipment and pipelines ····· 43
7.6 Backfilling ····· 43
8 Quality acceptance ····· 44
8.1 General provisions ····· 44
8.2 Sub-section acceptance ····· 44
8.3 Acceptance of main structure works ····· 46
8.4 Structural entity inspection ····· 47
8.5 Acceptance content ····· 48
Appendix A Quality acceptance record form ····· 57
Appendix B Classic examples ····· 78
Expalnation of Wording in this standard ····· 88
List of quoted standards ····· 89
Explanation of provisions ····· 91

1 总 则

1.0.1 为提高市政工程工业化建造水平，规范明挖装配式隧道的设计、施工和验收，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新建明挖装配式拱形隧道工程。

1.0.3 明挖装配式隧道在规划和方案设计阶段，建设、生产、施工等有关单位应共同制定工程设计、生产和施工方案，因地制宜地采用新技术、新材料、新装备。

1.0.4 明挖装配式隧道的设计、施工和验收除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业及重庆市现行有关标准的规定。

重庆工程建设

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 明挖装配式隧道 cut-and-cover prefabricated tunnel

将工厂预先生产的构件通过可靠的连接方式现场装配而成的明挖隧道结构形式，简称明挖装配式隧道。

2.1.2 增效刚接接头 enhanced rigid joint

一种通过预制构件端部交错预埋环形钢筋与纵向加强钢筋协同锚固，后浇混凝土形成整体叠合效应，具备等效现浇连接性能及多向荷载传递能力的刚性连接接头。

2.1.3 全预制接头 integrally precast structural joint

连接地下结构预制构件的关键部位，采用全预制截面的接头，例如传统盾构隧道的环间接头和纵向接头。

2.1.4 钢筋骨架 reinforcing cage

由多根钢筋通过绑扎、焊接等方式连接在一起，形成的具有一定形状和尺寸的钢筋结构体。

2.1.5 双向环形钢筋 bidirectional circumferential reinforcement

在增效刚接接头内部沿隧道纵向配置的环形钢筋。

2.1.6 张拉连接孔 tendon duct

预制构件之间连接需采用张拉工艺时，在构件上预留的孔洞。

2.1.7 密封垫安装槽 gasket groove

在预制构件表面设置的用于安装防水密封垫的凹槽，也称防水凹槽。

2.1.8 接缝 joint

预制构件与预制构件之间的连接缝。

2.1.9 连接器 prestressing steel coupler

用于连接环与环之间预应力钢棒的设备。

2.1.10 连接螺栓 connection bolt

用于预制构件连接紧固的螺栓。

2.1.11 套筒 splice sleeve

用于钢筋机械连接的金属圆筒。

2.1.12 接缝材料 joint sealant

接缝处用于止水密封的材料。

2.1.13 预埋件 embedded part

为联接或固定某种构件或设备而在混凝土振捣前提前埋设的金属件。

2.1.14 预埋吊钉 lifting insert

预埋在构件上用于吊装构件的"钉子"形部件称为预埋吊钉。

2.1.15 预埋注浆管 grout duct

预埋在构件内部与外界连通,用于后期接缝注浆的管道称为预埋注浆管。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值;

f_y、f_y' ——普通钢筋抗拉、抗压强度设计值;

f_{yv} ——横向钢筋抗拉强度设计值。

2.2.2 作用和作用效应

N ——轴向力设计值;

V ——剪力设计值;

V_{jd} ——持久设计状况和短暂设计状况下接缝剪力设计值;

V_{mua} ——被连接构件端部按实配钢筋面积计算的斜截面受剪

承载力设计值；

V_u ——持久设计状况下接缝受剪承载力设计值。

2.2.3 计算系数及其他

l_m ——环筋扣合弯角间直线锚固长度；

ln ——环筋扣合直筋段锚固长度；

c ——预制环形钢筋混凝土的钢筋保护层厚度；

S ——最大错位量；

δ ——环缝弹性密封垫在设计水压力作用下允许张开量；

ρ_{min} ——隧道纵向变形曲线最小半径；

δ_0 ——生产及施工误差造成的环缝间隙；

δ_s ——隧道后期变形等引起的接缝张开量。

2.2.4 几何参数

A ——密封垫沟槽截面面积；

A_0 ——弹性密封垫橡胶部分的截面面积；

A_s ——直径最大的单根受力钢筋的截面面积；

$\sum A_{st}$ ——沿受力钢筋设计锚固长度内横向钢筋的截面面积；

$\sum A_{(st,min)}$ ——沿受力钢筋设计锚固长度内横向钢筋的最小截面面积；

l_0 ——环筋交叠搭接长度；

$l_{(b,rqd)}$ ——环筋交叠搭接的基本锚固长度；

$l_{(0,min)}$ ——环筋交叠搭接的最小搭接长度。

3 基本规定

3.0.1 明挖装配式隧道应统筹设计、生产运输和施工安装，实现建设阶段全过程的协同。

3.0.2 明挖装配式隧道应按照标准化、模块化的要求，以适应性强、可复制性高的原则，实现隧道结构和构件的系列化和高效配置。

3.0.3 预制构件的工厂化应建立完善的质量管理体系，设立产品标识，确保生产精度，保障产品质量。

3.0.4 明挖装配式隧道应从设计阶段起，系统规划结构与设备的预留预埋要求，制定协调的施工组织方案，确保设计与施工的无缝衔接，并采用装配式施工方法，确保工程质量，提升施工效率。

3.0.5 明挖装配式隧道宜采用建筑信息模型（BIM）技术，实现全专业、全过程的信息化管理。

3.0.6 明挖装配式隧道应采用绿色建材和高性能的预制构件，提升隧道整体结构性能和使用寿命。

3.0.7 明挖装配式隧道的防火、防腐应符合国家现行相关标准的规定，满足结构的可靠性、安全性和耐久性要求。

3.0.8 拼装前应对施工现场进行全面调查和核对，并应根据现场实际条件编制科学可行的拼装方案。

4 材 料

4.1 混凝土

4.1.1 混凝土的力学性能和耐久性能应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的有关规定。

4.1.2 混凝土抗渗等级应不低于 P8，预制混凝土强度等级应不低于 C50，后浇混凝土强度等级应不低于预制部分的强度等级。

4.1.3 混凝土外加剂应通过试验室试配确定，并符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的质量要求。拌合混凝土时，掺入粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的有关规定；掺入细矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥中的粒化高炉矿渣》GB/T 203 的有关规定；其他掺合料应符合相应的国家标准要求。

4.1.4 混凝土拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定规定。

4.1.5 混凝土原材料计量允许偏差应符合表 4.1.5 的规定

表 4.1.5 材料每批计量允许偏差值

原材料	允许偏差(%)
水泥、掺合料	±2
骨料	±3
水、外加剂	±2

4.2 钢 材

4.2.1 根据设计图纸及规范要求，选用规格型号的钢筋。所用钢筋应符合国家现行相关标准要求。

4.2.2 采用冷轧带肋钢筋、热轧带肋钢筋和热轧光圆钢筋，钢筋的性能应分别符合现行国家标准《冷轧带肋钢筋》GB/T 13788、《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2和《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》GB 1499.1的规定。

4.2.3 钢筋进场时应按规定进行检验。检验项目至少包括屈服强度抗拉强度和延伸率。如采用闪光对焊焊接钢筋，应按照现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18的规定进行验收。

4.2.4 钢筋应按进场批次的级别、品种、直径和外形分类码放，妥善保管，且挂标识牌注明产地、规格、品种和质量检验状态等。

4.2.5 纵向受力钢筋的强度应满足现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的要求，以保证构件达到抗震设防要求；当设计无具体要求时，对一、二级抗震等级，检验所得的强度实测值应符合以下规定：

1 钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于1.25；

2 钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值不应大于1.3；

3 钢筋的最大力下总伸长率不应小于9%。

4.2.6 预制构件之间纵向连接宜采用预应力螺纹钢筋，其性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065的规定。

4.2.7 预制构件用锚具和连接器的性能应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370的规定。

4.2.8 预制构件吊装所用的吊钉、吊具的性能应符合现行国家

标准的规定。

4.3 接缝及防水材料

4.3.1 预制构件应至少设置一道密封垫沟槽。接缝密封垫宜选用制品型遇水膨胀橡胶密封材料，其物理性能指标应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 遇水膨胀橡胶密封材料的物理性能指标

性能项目		性能要求			
		PZ-600	PZ-450	PZ-250	PZ-150
拉伸强度/MPa		≥3	≥3.5	≥3.5	≥3.5
拉断伸长率/%		≥350	≥350	≥450	≥450
体积膨胀倍率/%		≥600	≥400	≥250	≥150
反复浸水试验	拉伸强度/MPa	≥2	≥2	≥3	≥3
	拉断伸长率/%	≥250	≥250	≥350	≥350
	体积膨胀倍率/%	≥500	≥300	≥250	≥150
低温弯折(−20℃×2h)		无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹
防霉等级		不低于 2 级			

[a] 注：成品切片测试应达到标准的 85%。

4.3.2 预制构件接缝密封垫的外形应与沟槽相匹配，能够完全压入密封垫沟槽内。密封垫沟槽的截面积应为密封垫截面积的 1 倍～1.15 倍。

4.3.3 预制构件接缝密封垫应满足在计算的接缝最大张开量和估算的错位量下、埋深水头的 3 倍水压下不渗漏的技术要求；选用的接缝密封垫应进行一字缝或 T 字缝耐水压检测。

4.3.4 弹性橡胶密封垫(圈)材质宜采用氯丁橡胶或三元乙丙橡胶，其物理性能指标应符合表 4.3.4 的规定。

表 4.3.4　遇水膨胀橡胶密封材料的主要物理性能

性能项目		性能要求	
		三元乙丙橡胶	氯丁橡胶
硬度(邵氏 A 硬度)/度		(55±5)～(70±5)	(45±5)～(65±5)
拉断伸长率/%		≥330	≥350
拉伸强度/MPa		≥9.5	≥10.5
热空气老化(70℃×96h)	硬度变化值(邵氏 A 硬度)/度	≤6	≤8
	拉断强度变化率/%	≤15	≤20
	拉断伸长率变化率/%	≤30	≤30
压缩永久变形(70℃×96h)/%		≤25	≤30
防霉等级		不低于 2 级	

4.3.5　预制构件之间连接用孔道灌浆料宜采用高强无收缩水泥灌浆料，灌浆料标准养护 28d 测得的抗压强度不应低于 50MPa。

4.3.6　防水砂浆、防水卷材、防水涂料、水泥基防水材料等防水材料的性能指标应符合现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030 的规定。

重庆工程建设

5 设 计

5.1 一般规定

5.1.1 明挖预制装配式衬砌结构设计应结合施工工法、横断面布置、地质条件(工程地质、水文地质)、施工工艺、埋置深度、使用条件及环境条件等因素,通过工程类比和结构分析计算确定结构参数。

5.1.2 明挖装配式隧道纵向节段的长度应根据施工可行性、结构性能、经济性、环境适应性、特殊工况等因素综合确定。

5.1.3 明挖装配式隧道结构构件的连接应确保构造上的安全性和防水效果。

5.1.4 明挖装配式隧道结构构件节点及接缝处后浇混凝土强度等级不应低于预制构件的混凝土强度等级。

5.1.5 预制构件设计文件应包含结构图纸、构件制作及装配的全过程使用要求,并应包含以下内容:

1 构件统一标识系统;

2 构件的种类、形状、范围、数量、定位、构件重量;

3 构件的模板图、配筋图、连接构造图;

4 预留预埋设置(预埋件、预留孔、连接件等);

5 构件制作、脱模、运输、存放、吊装、临时支护、施工。

5.1.6 明挖装配式隧道结构使用的衬砌、接头连接螺栓、防水密封条的规格和质量应符合本规范要求。

5.2 结构设计

5.2.1 荷载应符合下列规定:

1　明挖装配式隧道结构上的荷载，应按表 5.2.1.1 的规定进行分类；

表 5.2.1.1　荷载分类表

编号	作用分类		作用名称
1	永久作用		竖向及水平岩土压力
2			结构自重
3			结构附加恒载
4			地面超载
5			混凝土收缩和徐变的影响力
6			水压力
7	可变作用	基本可变作用	地面车辆影响力
8			隧道内车辆及人群影响力
9			风机等设备引起的动荷载
10		其他可变作用	温度变化的影响力
11			地面施工影响力
12			隧道施工影响力
13	偶然作用		爆炸力
14			撞击力
15			火灾影响力
16			地震力

2　明挖装配式隧道结构设计时，不同作用代表值的选取应符合下列规定：

1）永久作用应采用标准值作为代表值；

2）可变作用应根据设计要求选用代表值，并符合以下要求：车辆荷载、温度作用宜采用标准值；施工阶段荷载（如临时堆载、机械振动）宜采用组合值或频遇值；地下水压力、风荷载宜采用准永久值；

3）偶然作用（如地震、落石冲击）的代表值应根据结构重要性、使用环境及防护等级确定；

4）明洞特殊荷载（如偏压荷载）应根据地形条件及地质勘察数据专项分析。

3 明挖装配式隧道结构设计时选定的设计状况，应涵盖施工阶段、正常使用阶段及偶然状况下的各类不利情况，并应符合下列规定：

1）施工阶段验算应包含以下内容：动态施工荷载（包括吊装、拼装、回填等工序）作用下的结构稳定性；临时支撑体系、定位装置及连接接头的承载能力；接缝张开量、错台量及 PC 钢棒连接件的应力状态；边坡开挖后的稳定性验算；

2）使用阶段验算应符合下列要求：所有设计状况均应进行承载能力极限状态设计；持久设计状况尚应进行正常使用极限状态设计。

4 制作、运输、堆放、安装等短暂状况下的预制构件验算，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定；

5 预制构件在翻转、运输、吊运、安装等短暂设计状况下的施工验算，应将构件自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。构件运输、吊运时，动力系数宜取 1.5；构件翻转及安装过程中就位、临时固定时，动力系数可取 1.2；

6 预制构件进行脱模验算时，等效静力荷载标准值应取构件自重标准值乘以动力系数与脱模吸附力之和，且不宜小于构件自重标准值的 1.5 倍。动力系数与脱模吸附力应符合下列规定：

1）动力系数不宜小于 1.2；

2）脱模吸附力应根据构件和模具的实际状况取用，且不宜小于 $1.5kN/m^2$。

7 明挖装配式拱形隧道结构施工荷载应根据施工阶段、施

工方法和施工条件确定，并应按下列施工荷载之一或可能发生的最不利组合进行设计：

1）设备运输及吊装荷载；

2）施工机具荷载，不宜超过 10kPa；

3）邻近隧道开挖的影响；

4）注浆所引起的附加荷载。

注：施工过程中应严格控制地面堆载。确需临时堆载时，应进行专项论证，堆载值不得超过 20kPa，并应采取可靠的监测与防护措施。

8 明挖装配式隧道结构回填荷载可按《公路隧道设计规范》JTG 3370.1 附录 H 计算确定，回填土物理力学指标应按实际回填料和设计填筑要求取值；

9 明挖装配式隧道上方与道路立交时，应按现行标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的有关规定确定地面车辆荷载及排列；

10 混凝土的收缩和结构温度变化应根据所处地区的气温条件、运营环境及施工条件综合考虑。在设计时应按不同荷载组合工况的最不利影响确定组合系数。

5.2.2 结构布置应符合下列规定：

1 明挖装配式隧道结构布置应确保在施工和使用阶段的稳定性和安全性，各构件之间的连接应便于现场组装和施工；

2 明挖装配式隧道结构设计应满足以下要求：

1）对于增效刚接接头，预留钢筋凸出预制构件的长度不宜过长，以确保构件制作、运输、安装便捷性和安全性；

2）设计时应充分考虑现场施工装备的吊装能力、运输条件以及安装精度，确保预制构件的尺寸、重量和形状与现场装备相匹配，避免造成施工困难和安全隐患。

3 明挖装配式隧道的结构分块设计应尽量减少接头数量，分块位置应选择剪力较小的区域，并综合考虑结构受力特点、荷

载传递、施工便利性、构件形状、整体稳定性以及安装要求，确保各部分不仅能有效承受预期的荷载，也便于构件的运输和安装；

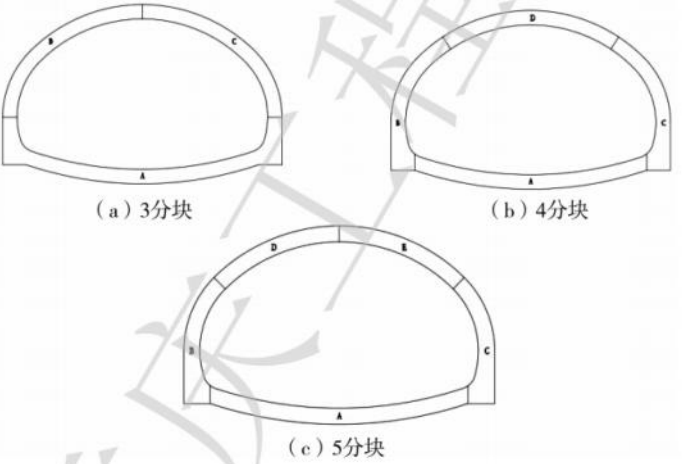
4 明挖装配式隧道结构的环向预制构件之间、纵向环与环之间应采用标准化接头连接，接头类型符合下列规定：

1）环向连接宜采用干式连接（如预应力张拉锁紧、螺栓锁紧）或湿式连接（如现浇混凝土、注浆填充）；

2）纵向连接应优先采用榫卯结构或预应力钢棒张拉，并设置导向定位装置控制错台量。

5 仰拱可采用预制结构或现浇结构；

6 明挖装配式隧道的结构采用有仰拱设计时，可采用以下分块方式；

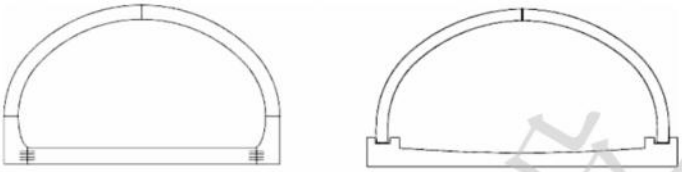


（a）3分块　（b）4分块

（c）5分块

图 5.2.2.6　有仰拱隧道分块方案参考

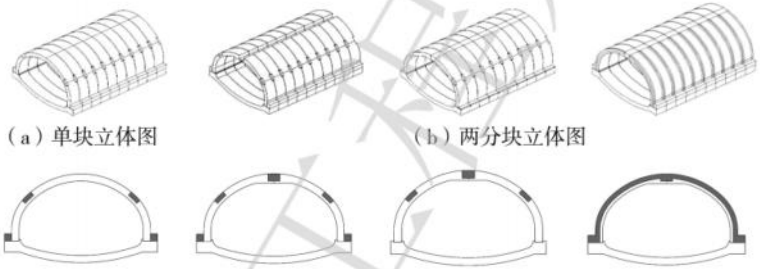
7 当地基承载力满足设计要求且稳定性良好时，明挖装配式隧道结构可采用平板式无仰拱设计方案，其分块方式可参考图5.2.2.7的方案；



（a）分块式平板　　（b）整体式平板

图 5.2.2.7　平板式无仰拱隧道结构分块方案参考

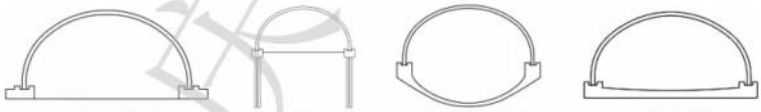
8　针对采用拱形设计的明挖装配式隧道结构，应优先考虑将结构分为单块或两分块形式。当采用增效刚接接头的结构时，应综合考虑隧道跨度、回填土深度以及地质条件等因素，以确定接头部位和基础型式；



（a）单块立体图　　（b）两分块立体图

（c）单块断面图　　（d）两分块断面图

图 5.2.2.8-1　明挖装配式隧道拱形结构湿接头部位



（a）条形基础　（b）桩基础　（c）仰拱基础　（d）筏板基础

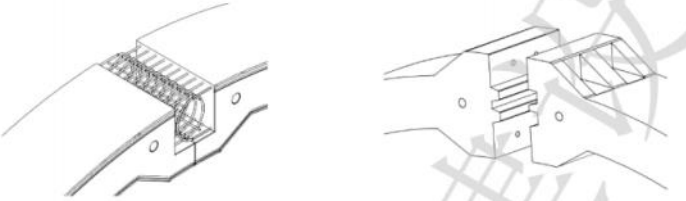
图 5.2.2.8-2　明挖装配式隧道拱形结构基础型式

9　预制装配式衬砌与横通道宜采用刚性连接，并在设置横通道位置附近设置变形缝；

10　明挖装配式隧道结构的接头类型应基于力学性能、模具制作、拼接难易程度、结构防水等因素综合选择；

11　明挖装配式隧道结构拱部宜采用增效刚接式接头、榫槽

式接头，边墙脚处宜采用承插式接头、榫槽式接头或增效刚接式接头。当有可靠依据时，也可采用其它能够保证装配式结构安全性、适用性和耐久性的接头构造；



（a）增效刚接式接头　　（b）榫槽式接头

图 5.2.2.11-1　隧道拱部的接头类型示意图

（a）承插式接头　　（b）榫槽式接头　　（c）增效刚接式接头

图 5.2.2.11-2　隧道边墙脚处的接头类型示意图

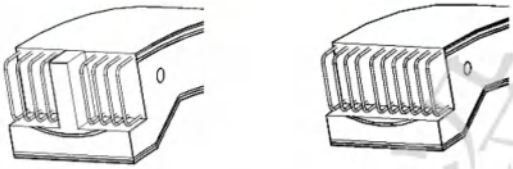
12　明挖装配式隧道结构的榫槽式接头应根据具体受力情况选择适用的接头形式，其中双榫长接头适用于环向构件之间的连接，单榫短接头适用于环与环之间的纵向连接；

（a）单榫短接头　　（b）双榫长接头

图 5.2.2.12　榫槽式接头类型示意图

13　增效刚接式接头主要由预制部分和后浇部分组成，其类

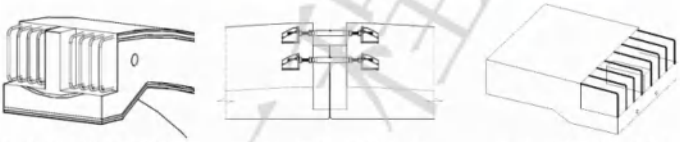
型根据预制部分的截面形状可分为倒 T 型和 I 字型；



（a）倒T型　　（b）I字型

图 5.2.2.13　增效刚接式接头类型示意图

14　对于增效刚接式接头的后浇混凝土强度达到设计要求之前，若其预制部分具备自稳能力，则无需设置连接装置；否则，应采取连接措施以增强其稳定性。连接措施可分为临时型和永久型，临时型可采用外部钢支撑装置，永久型可选择螺栓连接等。



（a）倒T型自稳体系　　（b）临时支撑装置　　（c）永久螺栓连接

图 5.2.2.14　拼装阶段增效刚接接头连接型式

5.2.3　结构计算

1　明挖装配式隧道结构设计按施工阶段和正常使用阶段分别进行结构强度、刚度和稳定性计算。对于钢筋混凝土结构，尚应对使用阶段进行裂缝宽度验算；偶然荷载参与组合时，不验算结构的裂缝宽度。当施工阶段无支撑时，需要分别按后浇混凝土未达到设计强度前的第一阶段和达到设计强度后的第二阶段进行增效刚接接头和整体结构受力计算；

2　装配式隧道增效刚接式接头结构施工安装阶段的内力和变形计算，可不考虑地震作用的影响；

3　明挖装配式隧道结构承载力极限状态及正常使用极限状态的作用效应分析宜采用弹性分析方法；

4　结构计算简图的确定应符合下列规定：

1）计算简图应真实反映围岩与结构的相互作用关系，并符合结构的实际工作条件；

2）当施工或使用过程中，结构的受力体系、荷载形式等发生较大变化时，应根据构件的施作顺序及形成实际受力体系的过程进行结构分析，分析中应考虑结构体系变形的连续性。

5 明挖装配式隧道结构在荷载和地震作用下的内力、位移及其作用效应组合应符合国家现行标准。《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 等的有关规定；

6 明挖装配式隧道结构构件及节点的承载力抗震调整系数应符合现行标准《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 的有关规定；

7 普通钢筋混凝土结构的最大计算裂缝宽度允许值应根据结构类型、使用要求、所处环境条件和防水措施等因素确定，并符合下列规定：

1）处于一般环境中的结构，按荷载准永久组合并计及长期作用影响计算时，构件的最大计算裂缝宽度允许值不应大于 0.2mm；

2）处于侵蚀环境、长期潮湿或存在化学腐蚀等不利条件下的结构，其最大计算裂缝宽度允许值应根据环境特征、材料耐久性要求和防护措施另行专项确定。

8 结构设计应按最不利工况进行抗浮稳定性验算，并符合以下规定：

1）对于砂性土地基，抗浮安全系数不应小于 1.15；

2）对于粘性土地基，抗浮安全系数不应小于 1.1；

3）当地下水存在显著渗透压力或临时施工工况时，抗浮安全系数应提高至 1.2，并应结合现场实测参数进行专项验算。

9 采用增效刚接式接头的明挖装配式隧道结构，可采用与

现浇混凝土结构相同的方法进行结构分析，采用全预制接头的明挖装配式隧道结构应考虑接缝接头的刚度折减影响，宜采用K－ξ法（旋转弹簧－ξ法）计算。K、ξ的取值受接缝构造、拼装方式和拼装预应力大小等多方面因素影响，应通过试验确定。

10 隧道应进行横断面方向的受力计算，遇下列情况时，尚应进行纵向强度和变形计算：

1）覆土荷载沿其纵向有较大变化时；

2）结构直接承受建、构筑物等较大局部荷载时；

3）地基或基础有显著差异，沿纵向产生不均匀沉降时；

4）装配式构件尺寸的确定应能使制作、吊装、运输以及施工安全和方便。接头设计应满足受力、防水和耐久性要求。

11 明挖装配式隧道结构预制构件中吊装和临时支撑预埋件的验算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计标准》GB 50017 和《混凝土结构工程施工规范》GB 50666等的有关规定。

5.2.4 构造要求

1 明挖装配式隧道结构单环间的增效刚接式接头应保证其结构性能具有与现浇混凝土结构等同的整体性、承载力、变形、裂缝、耐久性等要求；

2 增效刚接式接头预制部分在施工阶段可作为承载体及现浇模板，现浇工艺应确保接头性能与整体现浇结构相当；

3 增效刚接式接头区应加强抗剪措施，推荐使用键槽增强抗剪强度。键槽数量应根据接头端面受剪承载力的计算结果确定；

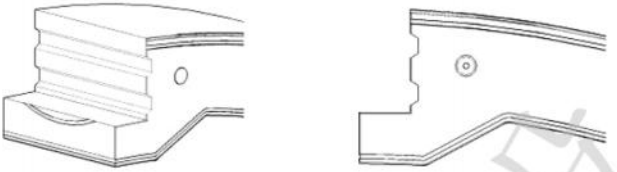


图 5.2.4.3-1　增效刚接式接头抗剪键槽示意图

1）键槽的深度 t 不宜小于 30mm，宽度 W 不宜小于深度的 3 倍且不宜大于深度的 10 倍键槽间距宜等于键槽宽度，键槽端部斜面倾角不宜大于 30°；

2）键槽的尺寸和数量按下列公式计算确定：

$$V_u = 0.07 f_c A_{cl} + 0.10 f_c A_k + 1.65 A_{sd} \sqrt{f_c f_y} \quad \text{（式 5.2.4.3）}$$

式中：A_{cl}——后浇混凝土叠合层截面面积；

f_c——预制构件混凝土轴心抗压强度设计值；

f_y——垂直穿过结合面钢筋抗拉强度设计值；

A_k——各键槽的根部截面面积（见图 5.2.4.3-2）之和，按后浇键槽根部截面和预制键槽根部截面分别计算，并取二者的较小值；

A_{sd}——垂直穿过结合面所有钢筋的面积。

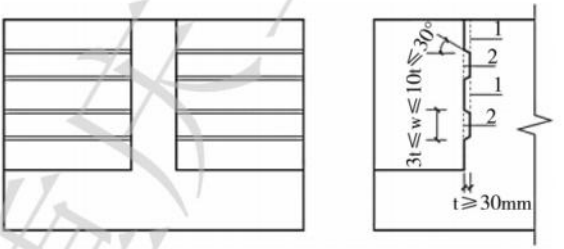


图 5.2.4.3-2　倒 T 形增效刚接接头键槽构造计算示意图

1—预制部分键槽根部截面面积；2—后浇部分键槽根部截面面积。

4　增效刚接式接头的新旧混凝土结合面应进行表面处理，综合考虑结构整体性、力学性能、结构防水等多方面因素确定粗糙面成型工艺。宜采用水冲露骨料方式，并需符合以下要求：

1）粗糙面的面积不得小于结合面的 80%；

2）粗糙面的凹凸深度不得小于 6mm。

5 现浇增效刚接式接头环筋连接应保证连接区有很强的约束，应配置横向钢筋来抵抗横向拉力，且横向钢筋应做成箍筋或 U 形钢筋锚固在截面内；

6 对于受拉钢筋搭接，横向钢筋的布置应垂直于搭接钢筋且在搭接钢筋与混凝土表面之间，并在搭接截面的外侧；

7 预制节段接缝应符合下列规定：

1）当采用湿接缝时，预制节段之间预留宽度不应小于 200mm，且应将非预应力钢筋连接，湿接缝应采用与节段本身等强度的混凝土填实；

2）当采用胶接缝时，接缝应密闭。

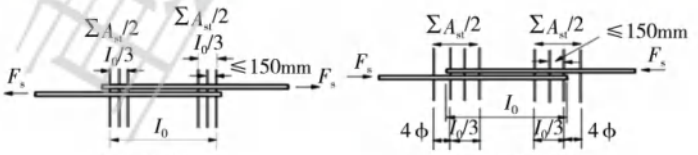
8 后浇带宜在临近现浇结构混凝土浇筑时间不小于 28d 后施工，采用不小于两侧混凝土强度等级的微膨胀混凝土浇筑，并加强后浇带防水处理措施；

9 明挖装配式隧道结构采用榫槽接头时，应在接缝空隙内灌注灌浆料；

10 预制构件应按实际受力计算配筋，且构造钢筋配筋率不应小于 0.2%，同时分布筋的间距不宜大于 150mm；

11 环向与纵向接头均需设置张拉孔和预埋吊点；

12 对于受压钢筋搭接，除了满足受拉搭接的规定外，应有一根横向钢筋布置在搭接长度每端的外侧，且在搭接长度端部 $4d$ 的范围内；



（a）受拉钢筋　　（b）受压钢筋

图 5.2.4.12　搭接接头的横向钢筋

13 环筋交叠搭接长度 l_0 按下式计算：

$$l_0 = 1.5\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4 l_{b,rqd} \geqslant l_{0,min} \quad \text{（式 5.2.4.13-1）}$$

式中：α_1、α_2、α_3 和 α_4——系数，按表 5.2.4.13 取值，其中乘积 $\alpha_2\alpha_3\alpha_4 \geqslant 0.7$。计算 α_3 时，$\sum A_{st,min}$ 应取 $1.0A_s\left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}}\right)$，$f_{yd}$ 为钢筋屈服强度设计值。

$l_{b,rqd}$——基本锚固长度，按下式计算：

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad \text{（式 5.2.4.13-2）}$$

$$f_{bd} = 2.25\eta_1\eta_2 f_{ctd} \quad \text{（式 5.2.4.13-3）}$$

σ_{sd}——承载能力极限状态下锚固位置钢筋的设计应力；

f_{bd}——带肋钢筋的极限粘结应力设计值；

ϕ——钢筋直径；

f_{ctd}——混凝土抗拉强度设计值；

η_1——与粘结状态和浇筑混凝土时钢筋位置有关的系数，“好”的状态 $\eta_1 = 1.0$，所有其他情况和用滑模制作的构件的钢筋 $\eta_1 = 0.7$；

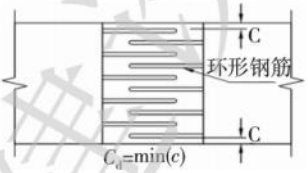
η_2——与钢筋直径有关的系数，按下式计算：

$$\eta_2 = \begin{cases} 1.0 & \phi \leqslant 32\text{mm} \\ \dfrac{132-\phi}{100} & \phi > 32\text{mm} \end{cases} \quad \text{（式 5.2.4.13-4）}$$

最小搭接长度为：

$$l_{0,min} \geqslant \max\{0.45 l_{b,rqd}; 15\phi; 200\text{mm}\} \quad \text{（式 5.2.4.13-5）}$$

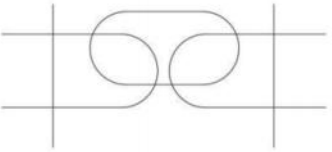
表 5.2.4.13　α_1、α_2、α_3 和 α_4 的值

影响因素	受拉搭接	受压搭接	
钢筋弯钩形式	若 $c_d>3\phi$，$\alpha_1=7$； 否则，$\alpha_1=1.0$	$\alpha_1=1.0$	其中：环形钢筋交叠搭接时混凝土最小保护层厚度 c_d 值见下图：  $\lambda=\dfrac{\sum A_{st}-\sum A_{st,xmin}}{A_s}$； $\sum A_{st}$——沿受力钢筋设计锚固长度内横向钢筋的截面面积； p——为承载能力极限状态下沿设计锚固长度的横向压力(MPa)。
混凝土保护层	$\alpha_2=1-0.15(c_d-\phi)/\phi$ $\geqslant 0.7$ $\leqslant 1.0$	$\alpha_2=1.0$	
受横向钢筋约束	$\alpha_3=1-K\lambda$ $\geqslant 0.7$ $\leqslant 1.0$	$\alpha_3=1.0$	
受横向压力约束	$\alpha_4=1-0.04p$ $\geqslant 0.7$ $\leqslant 1.0$	—	

14　对于受拉钢筋搭接，当搭接钢筋的直径不小于 20mm 时，横向钢筋的总面积 $\sum A_{st}$（沿设计锚固长度横向配筋的截面面积）不小于 1 根较大直径搭接钢筋的面积 A_s（$\sum A_{st}\geqslant A_s$）；

15　后浇混凝土接缝处的受力钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定，可采用预留半圆型钢筋连接、附加长圆环与预留半圆环钢筋连接、焊接、搭接连接、弯折锚固等方式。

（a）预留半圆型钢筋连接



（b）预留半圆型钢筋连接、附加长圆环钢筋连接

图 5.2.4.15　钢筋连接方式

16 拱圈及边墙衬砌结构采用钢筋混凝土结构，衬砌厚度超过 80cm 时宜设置内部空腔，构件整体空腔率不宜大于 20%，薄壁厚度不宜小于 20cm；

17 钢筋的混凝土保护层厚度应根据结构类别、环境条件和耐久性要求等确定。

表 5.2.4.17 混凝土保护层厚度取值

构件厚度	保护层最小厚度	
	非侵蚀性环境	侵蚀性环境
<150	根据情况确定	根据情况确定
150～300	30	40～55
301～500	35	40～55
>500	40	50～55

[a] 注：严重侵蚀性环境地段取大值，轻微侵蚀性环境地段取小值。

5.3 抗震设计

5.3.1 明挖装配式隧道抗震设计应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336 的有关规定。

5.3.2 明挖装配式隧道的抗震等级为四级。

5.3.3 明挖装配式隧道所处的场地和地基应符合下列规定：

1 应结合工程的特点并根据地震安全性评价报告，对沿线场地做出对抗震有利、不利地段的划分和综合评价；

2 应避开不利地段，当无法避开时应采取有效的抗震措施；

3 同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同或差异显著的地基上；

4 地基为软弱粘性土、液化土、新近填土或严重不均匀土时，应考虑地震时地基不均匀变形产生的不利影响，并采取相应

的措施。

5.3.4 为防止地震对隧道的安全性造成不良影响，明挖装配式隧道应配置纵向连接预应力筋，并采用抗震性能良好的延性接头。

5.3.5 明挖装配式隧道结构的抗震计算方法应根据《地下结构抗震设计标准》确定，并应符合下列规定：

1 隧道纵向地层条件变化较大时，明挖隧道除应进行横向抗震计算外，尚应进行纵向抗震计算，可采用反应位移法或时程分析法；反应位移法可将结构周围土体作为支撑结构的地基弹簧，结构宜采用梁单元进行建模，地震位移应施加于地基弹簧的非结构连接端；

2 隧道断面形状变化较大或与相邻建（构）筑物构成整体时，宜采用时程分析法进行三维抗震计算；

3 地质条件变化较大的局部区段宜考虑竖向地震作用，其他情况可仅考虑沿结构断面的水平地震作用。

5.3.6 隧道断面采用增效刚接式接头，计算与现浇相同，采用榫槽式接头考虑接头对整体断面刚度折减的等效刚度模型。

5.4 防水与防腐设计

5.4.1 防水与防腐蚀设计应根据使用功能与要求、结构特点、水文地质条件、使用环境条件、施工条件确定。隧道结构的防水设计，应按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 执行。

5.4.2 明挖装配式隧道结构的榫槽式接头接缝，应设置至少 1 道橡胶密封垫，密封垫的防水性能应满足规范相关要求，同时，接缝宜采用适合的材料进行填充。

（a）拱顶接头接缝防水构造　　（b）拱脚接头接缝防水构造

图 5.4.2　榫槽式接头接缝防水示意图

5.4.3　当装配式隧道采用增效刚接接头时，应确保后浇混凝土的密实防水性，同时预制构件接缝端面应粘贴至少 1 道遇水膨胀橡胶止水带；衬砌结构宜设置外包防水层，外包防水层的做法应与装配式隧道结构的特点和拼装工艺相适应。

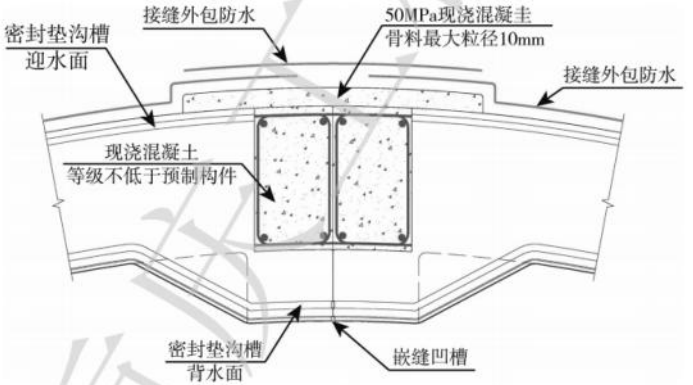


图 5.4.3　增效刚接接头接缝防水示意图

5.4.4　防水等级和防水标准

1　隧道的不同防水等级的适用范围应符合表 5.4.4-1 的规定；

表 5.4.4-1　不同防水等级的适用范围

防水等级	适用范围
一级	城市轨道交通车站及机电设备集中区段；高速公路、一级公路、二级公路、城市道路隧道的拱部、边墙、路面、设备箱洞；三级公路、四级公路隧道的设备箱洞；城市地下综合管廊
二级	城市轨道交通的区间隧道；电力隧道；高速公路、一级公路、二级公路、城市道路隧道的车行横通道、人行横通道；三级公路、四级公路隧道

2　隧道的防水标准应符合表 5.4.4-2 的规定；

表 5.4.4-2　隧道的防水标准

防水等级	防水标准
一级	不得渗水，结构表面不应有湿渍
二级	顶部不得滴漏，其他部位不得漏水，结构表面可有少量湿渍，总湿渍面积不应大于总防水面积的 2/1000，任意 $100m^2$ 防水面积上的湿渍不应超过 3 处，单个湿渍的最大面积不应大于 $0.2m^2$；隧道工程中漏水的平均渗漏量不应大于 $0.05L/(m^2 \cdot d)$，任意 $100m^2$ 防水面积渗漏量不应大于 $0.15L/(m^2 \cdot d)$

5.4.5　衬砌结构自防水应符合以下规定：

1　混凝土预制构件的裂缝宽度不得大于 0.2mm；

2　钢筋混凝土预制构件应进行单块检漏试验。预制构件外表在设计抗渗压力下，恒压 2h，最大渗水深度不得超过主筋保护层厚度。

5.4.6　预制构件接缝防水应符合以下规定：

1　预制构件接缝至少应设置一道密封垫。当预制构件厚度不小于 400mm 且隧道处于富水区域时，应设置两道密封垫；当预制构件厚度小于 400mm 且处于富水区域时，宜在预制构件密封垫表面增设遇水膨胀条等加强防水；

2　密封垫应沿衬砌侧面成环设置。密封垫沟槽形式、截面尺寸应与密封垫形式和尺寸相匹配；

3　密封垫沟槽截面积应按下式计算：

$$A=(1\sim1.15)A_0 \qquad (式\ 5.4.6)$$

式中：A ——密封垫沟槽截面积；

A_0——弹性密封垫橡胶部分的截面积。

4 密封垫宜采用三元乙丙橡胶类或遇水膨胀橡胶与三元乙丙橡胶的复合材料等，密封垫应符合下列规定：

1）密封垫应在计算的接缝最大张开量和估算的错台量情况下，在 2 倍～3 倍埋深水头的压力下不渗漏；

2）密封垫的压缩永久变形率不应大于 25%；

3）接缝闭合压缩力应小于千斤顶最大顶力；

4）当封顶块采用纵向插入方式时，密封垫表面应涂抹润滑剂；

5）变形缝环缝密封垫表面应增设遇水膨胀橡胶片加强防水。

5 嵌缝防水设计应符合下列规定：

1）嵌缝材料应具有良好的不透水性、粘结性、耐久性、弹性和抗下坠性；

2）嵌缝槽宜采用弹性、刚性或遇水膨胀类密封材料进行嵌缝；

3）变形缝嵌缝槽宜采用弹性密封材料进行嵌缝。

6 螺栓孔防水应符合下列规定：

1）螺栓孔口应设置锥形倒角的螺孔密封圈沟槽；

2）螺栓孔密封圈的外形应与沟槽相匹配；

3）螺孔密封圈应采用合成橡胶或遇水膨胀橡胶制品。

7 注浆孔的注浆管密封圈和注浆管盖密封圈，应符合下列规定：

1）注浆管密封圈应在预制构件混凝土浇筑前固定在注浆管四周，单道或多道设置；

2）注浆管密封圈和注浆管盖密封圈应采用遇水膨胀橡胶制品。

5.4.7 防腐蚀应符合以下规定：

1 隧道防腐蚀设计应符合下列规定：

1）当隧道处于对混凝土有中等以上腐蚀的地层时，钢筋混凝土预制构件迎水面应涂抹外防腐涂层，防腐蚀涂层应具有防水性能；

2）钢预制构件、外露螺栓和垫片等金属构件，均应采取防腐蚀措施。

2 钢筋混凝土预制构件防腐蚀涂层应符合下列规定：

1）防腐蚀涂层宜为环氧或改性环氧类封闭型材料、水泥基渗透结晶型或硅氧烷类材料；

2）防腐蚀涂层应具有良好的耐化学腐蚀性、抗微生物侵蚀性、耐水性、耐磨性，并应无毒或低毒；

3）防腐蚀涂层应满足在挤压和摩擦下不损伤、不渗水。

3 金属构件防腐蚀应符合下列规定：

1）外露的螺栓、螺母、垫片等金属构件，应采用无铬锌铝片涂层、热喷锌加无铬锌铝片涂层或多元合金共渗加无铬锌铝片涂层等环保型的材料进行防腐蚀处理；

2）外露的螺栓、螺母、垫片应结合手孔封堵措施进行覆盖保护。隧道水平直径线以下范围的手孔内外露螺栓宜采用速凝混凝土或防腐蚀水泥砂浆填充覆盖；隧道水平直径线以上范围的手孔内外露螺栓宜采用塑料保护罩覆盖，塑料保护罩内应填充速凝水泥、防腐蚀水泥砂浆或发泡聚氨酯。

5.5 防火设计

5.5.1 隧道设计应根据建设区域内地质、地形、气象、水文等自然条件，综合考虑隧道防火功能系统方案。统筹布局隧道、设备管理附属用房及救援通道，合理设定防火分隔区域和消防设施设

备配备等。

5.5.2 隧道防火设计遵循按一座隧道或隧道群同一时间内发生一次火灾考虑为原则。

5.5.3 隧道应综合其建设位置、封闭段的长度、交通流量和通行车辆的类型及环境条件等因素确定其防火要求。按隧道封闭段长度和交通情况分为一、二、三、四类，并应符合表 5.5.3 的规定。

表 5.5.3 隧道防火灾分类

用途	一类	二类	三类	四类
	隧道封闭段长度 L(m)			
可通行危险化学品等机动车	L>1500	500<L≤1500	L≤500	—
仅限通行非危险化学品等机动车	L>3000	1500<L≤3000	500<L≤1500	L≤500

5.5.4 隧道内的地下设备用房、风井和消防救援出入口的耐火等级应为一级，地面的重要设备用房、运营管理中心的耐火等级不应低于二级。敷设 10kV 及以上高压电缆，应采用耐火极限不低于 2.0h 的结构体与车行、疏散通道空间分隔。

5.5.5 隧道承重构件、顶部、装配式链接螺栓应采取隧道防火保护措施，并达到表 5.5.5 规定的耐火极限要求。

表 5.5.5 隧道承重构件保护层升温曲线及耐火极限要求

隧道防火类别	一类	二类	三类	四类
升温曲线	RABT	RABT	HC	HC
耐火极限不低于(h)	2.0	1.5	2.0	1.5

5.5.6 隧道的专用疏散通道、管线通道、附属设备用房等应采用耐火极限不低于 2.0h 的防火墙或甲级防火门与车行隧道分隔。

5.5.7 人行横通道及通向人行疏散通道的安全门应采用甲级防火门。车行横通道应设置耐火极限不低于 3.0h 的常闭防火卷帘。

5.5.8 隧道内地下设备用房的每个防火分区的最大允许建筑面积不应大于 1500m^2，设备用房的安全出口设置应符合下列规定：

1 每个防火分区的安全出口数量不应少于 2 个，与车道或其他防火分区相通的出口可作为第二安全出口，但必须至少设置 1 个直通室外的安全出口；

2 隧道消防泵房和火灾自动报警控制器机房且无人值守的设备用房应设置 1 个直通室外的安全出口；

3 当隧道内废水泵房不具备设置直通室外安全出口的条件时，可利用隧道中邻近的人员疏散通道或安全出口作为安全出口。

5.5.9 疏散楼梯的设置应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的相关规定。当隧道埋深大于 10m 时，其疏散楼梯间应采用防烟楼梯间。

5.5.10 除嵌缝材料外，隧道的内部装修应采用不燃材料，同时应满足现行国家标准《建筑内部装修设计防火规范》GB 50222 的相关规定。

5.5.11 双孔隧道设置车行横通道应符合下列规定：

1 车行横通道设置间距不宜大于 1000m；

2 车行横通道不宜兼做人员疏散通道。

5.5.12 双孔隧道设置的人行横通道的间距或隧道通向人行疏散通道的安全口间距，宜为 250m～300m。

5.5.13 单孔隧道设置的人行疏散通道应符合以下规定：

1 通向人行疏散通道的安全口间距不宜大于 250m；

2 设有水喷雾系统或泡沫水喷雾联用灭火系统且距隧道出入口小于 250m 的匝道，可不设人行疏散通道。

5.5.14 人行横通道或人行疏散通道的净宽度不应小于 1.2m，净高度不应小于 2.1m。车行横通道的净宽度不应小于 4m，净高度不应小于 4.5m。

5.5.15 隧道左右洞之间人行横通道疏散门应向疏散方向开启，且不应设置门槛或台阶。

5.5.16 火灾工况下人员的疏散时间应小于火灾烟雾蔓延至路面以上 2m 高度处的时间，且应小于 15min，设置有专用排烟道和泡沫喷雾设施时，安全疏散时间可放宽至 20min。

重庆工程建设

6 生产与运输

6.1 一般规定

6.1.1 装配式隧道预制构件预制、养护及验收等环节，宜集中在标准工业化场区进行。

6.1.2 预制构件生产场区建设应进行专门设计并通过结构安全验算，并应符合现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068、《钢结构设计标准》GB 50017 相关规定。

6.1.3 生产模具应由专业资质厂家进行设计、加工与试拼装，在使用过程中定期进行保养和维护。

6.1.4 预制构件生产应建立首件验收制度。构件生产完成并经检查合格后，应设置表面标识。构件出厂时，应随附质量证明文件。

6.1.5 预制构件运输前应进行整体稳定性验算，运输过程中应设置专人跟踪指挥。

6.2 模 具

6.2.1 模具的制作材料宜选用钢材。模板系统除应满足刚度、承载力、稳定性的要求外，尚应符合下列规定：

1 满足构件生产工艺、模具组装和拆卸、周转次数等要求；

2 满足预制构件预留孔洞、预埋件安装定位要求；

3 模具使用过程中应由专业资质厂家进行定期校正及复核。

6.2.2 模具应规格化、标准化、定型化，便于组装成多种尺寸形状。

6.2.3 预制构件模具安装应符合下列规定：

1 模具安装前必须进行清理，不得有残留杂物；

2　模具安装应按模具安装方案要求的顺序进行；

3　固定在模具上的预埋件、预留孔应位置准确、安装牢固，不得遗漏；

4　模具安装后相关人员应进行质量检验。

6.2.4　模具加工完成后应进行单体和整体试拼装，其组装验收的允许尺寸偏差及检验方法应符合表 6.2.4 的规定。

表 6.2.4　模具拼装验收尺寸偏差和检验方法

序号	项目	允许偏差/mm	检查方法
1	模板平面几何尺寸偏差	±2	尺量
2	模板板面对角线差	3	尺量
3	板面平整度	3	2m 靠尺和塞尺量
4	相邻板面拼缝高低差	2	尺量
5	相邻模具之间的拼缝宽度	2	塞尺量

6.2.5　固定在模板上的连接件、预埋件、预留孔洞位置的偏差应符合表 6.2.5-1、6.2.5-2 的规定。

表 6.2.5-1　连接件、预埋件的允许偏差(mm)

项目		允许偏差	检验方法
连接件	中心线位置	±3	尺量
	安装垂直度	1/40	拉水平线、竖直线测量两端差值且满足连接套管施工误差要求
预埋件（螺栓、吊具等）	中心线位置	±5	尺量
	外露长度	+5～0	尺量

表 6.2.5-2　预留孔洞的允许偏差(mm)

项目		允许偏差	检验方法
预留孔洞	中心线位置	±5	尺量
	尺寸	+8，0	尺量
其他需要先安装的部件	安装状况：种类、数量、位置、固定状况		与构件制作图对照及目视检查

6.3 钢筋骨架

6.3.1 内、外纵筋下料应按设计要求进行配置，钢筋加工质量应符合表 6.3.1 的规定。

表 6.3.1 钢筋加工的允许尺寸偏差

序号	项目	允许偏差（mm）	检验数量		检验方法
			范围	点数	
1	受力钢筋沿长度方向的净尺寸	±10	每一构件	抽查 10%，且不少于 3 件	尺量
2	弯起钢筋的弯折位置	±20			尺量
3	箍筋外廓尺寸	±5			尺量

6.3.2 钢筋骨架制作应符合下列规定：

1 钢筋的品种、等级、规格等必须符合设计要求；

2 钢筋骨架制作宜在符合要求的胎架上进行，胎架应有足够的承载力、刚度和稳定性，同时应具备钢筋支撑定位的功能和人员工作平台及相应安全防护措施；

3 钢筋连接应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定；

4 钢筋锚固长度、保护层厚度应符合设计要求；

5 钢筋骨架应有足够的刚度，确保在运输、装模及成型过程中应保持其整体性。

6.3.3 钢筋安装宜按先主筋后箍筋的顺序进行。轻质混凝土空腔块的安装及加固钢筋的绑扎，应避免对已安装钢筋造成扰动，并保证其设计位置。

6.3.4 保证钢筋骨架整体尺寸准确，钢筋安装应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。预制构件钢筋安装尺寸允许偏差应符合表 6.3.4 的规定。

表 6.3.4　钢筋安装允许偏差

检查项目		允许偏差(mm)
受力钢筋间距	排距	±5
	间距	±10
箍筋、横向水平钢筋、螺旋筋间距		0,－20
钢筋骨架	长度	±10
	宽度、高度或直径	±5
弯起钢筋位置		±20
保护层厚度		±5

6.3.5　焊缝应连续饱满，无漏焊、脱焊。焊缝表面应无裂纹、夹渣、气孔、过火烧伤及咬边等缺陷，焊后应将焊渣和飞溅物清除干净。焊缝的尺寸和高度应符合设计规定。

6.4　混凝土浇筑、脱模

6.4.1　混凝土浇筑前应对预埋件的数量、定位进行全数检查，确定无误后方可浇筑混凝土。

6.4.2　混凝土浇筑过程中应逐车检测入模温度，入模温度宜控制在 5℃～30℃之间。

6.4.3　混凝土的浇筑、取样与试验应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666，可根据预制构件吊装、脱模、张拉等要求，留置足够数量的同条件养护混凝土试块进行强度检验。

6.4.4　拆模前检查混凝土凝结情况，确保混凝土强度符合脱模要求。

6.4.5　拆模应满足下列要求：

1　拆模时，应能保证混凝土预制构件表面及棱角不受损伤；拆模强度应符合设计要求，设计无要求时，盖模和侧模拆除时构件混凝土强度不低于 2.5MPa，底模拆除时构件混凝土强度不低于设计强度的 75%；

2　模具吊离模位时，模板和混凝土结构之间的连接应全部拆除，移动模板时不得碰撞构件；

3　模板的拆除顺序应按模板设计施工方案进行；

4　模板拆除后，应存放在指定地点，及时清理板面并涂刷脱模剂。对发生变形的部位，应及时修复。

6.4.6　构件缺陷修补应符合下列规定

1　拆模后，应对构件进行检查。出现的缺陷应根据其类型按表 6.4.6-1 进行分类判定，并采取修复、降级使用或报废等处置措施。经修复的构件，应重新检验其质量是否符合表中所列的修复标准；

表 6.4.6-1　构件缺陷处置分类表

缺陷类型	缺陷描述	修复标准	报废标准	备注
一般缺陷	1. 表面麻面、蜂窝(深度≤5mm)； 2. 非贯穿性裂纹(宽度≤0.2mm)； 3. 局部缺棱掉角(长度≤30mm)。	1. 表面缺陷需修补后使用，修补材料强度不低于构件本体； 2. 单环构件一般缺陷数量≤10%。	不满足修复要求的构件需报废。	
严重缺陷	1. 贯穿性裂纹； 2. 主筋外露或锈蚀； 3. 结构性能不达标(如强度、抗渗性)； 4. 几何尺寸超差(如弧长偏差>±4mm)。	—	应予以报废	
外观质量	1. 构件表面污染(不影响防水)； 2. 轻微色差。	应以清洁处理为主	—	
几何尺寸偏差	1. 长度偏差(+1mm，−3mm)； 2. 高度偏差(+1mm，−2mm)； 3. 宽度偏差(+1mm，−1.5mm)； 4. 弧长偏差(±4mm)； 5. 厚度偏差(+3mm，−1mm)。	超出允许偏差范围的构件需评估，若不影响拼装可降级使用，否则报废。	超差严重导致拼装困难或结构受力异常的构件需报废。	
防水密封缺陷	1. 密封条槽破损或尺寸偏差； 2. 预埋注浆管堵塞或断裂。	1. 密封槽修补后需满足密封条安装要求； 2. 注浆管需疏通或更换。	无法修复的防水缺陷构件需报废。	

2　缺陷修复时，应分析构件破损原因及程度，制定修补方案；

3　缺陷修复使用的砂浆应具有高强度、防水、防渗和抗裂的性能；

4　修补材料强度不应低于构件强度。

6.5　构件养护

6.5.1　预制构件混凝土浇筑完毕，应在初凝后开始养护。养护应使混凝土在规定的期限内保持适宜的温度和湿度，以满足水泥水化的需要。

6.5.2　预制构件养护至同条件试件强度不低于75%的设计值且满足吊装强度要求后，可拆除底模。

6.5.3　当气温低于5℃时，必须采取保温措施，不得对混凝土洒水养护。

6.5.4　预制构件养护时间不少于14天，且强度达到设计强度的100%后，方可停止养护。

6.6　构件自检

6.6.1　预制构件应按设计要求的试验参数及检验指标进行结构性能检验，结构性能检验不合格的不得出厂。

6.6.2　经检验合格的预制构件，出厂前应由质检人员出具产品合格证和使用说明书，并在构件表面醒目位置标注产品代码。

6.6.3　预制构件成品不得出现露筋、蜂窝、孔洞、夹渣、疏松等质量缺陷。

6.6.4　每块预制构件应独立编号，并应在明显部位标明工程名称、生产单位、构件型号、生产日期和质量验收标志，上述标志应持久可靠，在交付安装前保持清晰、可识读。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

6.6.5 预制构件成品不应有影响结构性能和安装、使用功能的尺寸偏差。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查技术处理方案

6.7 构件存放

6.7.1 预制构件在厂内起吊、运输时，混凝土强度必须符合吊装设计要求。

6.7.2 预制构件存放应符合以下要求：

1 构件存放场地应平整、坚实，有良好的排水措施；

2 构件应根据生产批次、安装顺序、检验状态等因素分区、分顺序存放；

3 存放台座与构件表面间应设置缓冲垫。

6.8 构件运输

6.8.1 预制构件运输应符合以下要求：

1 构件运输前应制定构件运输方案，根据构件尺寸、重量等因素合理选择运输设备和运输路线；

2 构件运输前应对运输路线的坡道、桥梁、曲率半径、架空线路、空中障碍物等进行全面勘查，运输路线最小曲率半径应不小于运输车的允许转弯半径，且应尽量避开拥堵路段以及拥堵时段；

3 运输过程中，构件角部应设置防止混凝土损伤的保护型垫块。

7 现场施工

7.1 一般规定

7.1.1 预制构件拼装设备的技术性能应满足构件安装要求，现场安装所用的吊装设备、专用工装设备应按照起重设备要求进行检验。

7.1.2 装配式隧道预制构件拼装所用原材料、构配件均应按检验批进行进场验收。

7.1.3 预制构件拼装施工前应按照设计要求和施工方案对吊装设备、拼装设备等进行施工验算。

7.1.4 装配式隧道预制构件拼装施工过程中应采取安全保障措施，并应符合《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 和《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 等现行有关规定。

7.1.5 不得对预制构件进行切割、开洞。

7.1.6 装配式隧道施工前，宜进行预制构件试拼装，并应根据试拼装结果及时调整施工工艺、完善施工方案。

7.2 施工准备

7.2.1 在明挖隧道开挖之前，应建立隧道控制网。

7.2.2 基底的平面位置应符合设计要求，且应满足基础施工作业的需要。

7.2.3 施工前应结合现场条件编制预制构件运输车辆进场交通疏解方案和预制构件运输通道、装卸场地、临时贮存场地、二次转

运等方案。

7.2.4 装配式隧道拼装前应复核构件装配连接构造，包括装配位置、节点连接构造及临时支撑等。

7.2.5 装配式隧道拼装施工前，应按工序要求核查已施工完成结构部分的质量，并应进行测量放线，在预制构件和已施工结构上设置安装定位标志。

7.2.6 拼装施工前，应检查运抵现场的预制构件混凝土强度、外观质量、尺寸偏差等；还应检查复核吊装设备及机具处于安全操作状态。

7.3 构件拼装

7.3.1 预制构件拼装前，应清除孔洞积垢及结合面的尘土、油污等杂质。

7.3.2 预制构件拼装用材料及配件等应符合设计要求及国家现行有关标准的规定。

7.3.3 预制构件拼装前应按设计文件要求粘贴防水材料。

7.3.4 吊装用吊具应按国家现行有关标准的规定进行设计、验算或试验检验。

7.3.5 预制构件拼装前应进行试拼装，满足设计要求、掌握并熟悉成套工艺后，方可进行后续安装工作。

7.3.6 预制构件拼装时起吊提升应匀速，严格控制吊装移动速度，防止运动惯性和拼装时碰撞。

7.3.7 应按拼装工艺要求逐块安装，并及时采用螺栓或预紧装置连接锁紧，预制构件连接螺栓及预紧装置的锁定值应符合设计要求。

7.3.8 拼装过程中应严格控制轴线和高程，一旦发现偏差超限，应立即停工并报请设计单位核算，严禁擅自调整。

7.3.9 下一衬砌环拼装前应对上一衬砌环进行检查，确认其符

合设计要求后，方可进行后续拼装。

7.3.10 拼装缝宽应符合下列规定：

1 环缝一般应设置为通缝，纵缝可采用通缝，也可采用错缝；

2 相邻环的纵向接缝允许值为 0～10mm；

3 相邻环顶面高差错台允许值为±5mm。

7.3.11 拼装台车、机具及吊索吊具应进行定期检查，确保其始终处于安全工作状态。

7.3.12 预制构件张拉应符合下列规定：

1 预制构件上的张拉点布置应与密封垫的布置相适应，确保由各张拉点所形成的压紧荷载能够对接缝宽度实施有效控制；

2 张拉设备的能力应满足设计张拉力的要求，并宜选用具备同步控制功能的张拉系统；

3 张拉设备及配套的仪表应定期进行检定或校准。

7.4 防水施工

7.4.1 装配式隧道外围和结构内部防水施工应符合设计文件要求，施工质量应符合现行国家标准《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030 和《地下工程防水技术规范》GB 50108 的相关规定。

7.4.2 卷材防水层经检查合格后，应及时做保护层。

7.4.3 外包防水卷材保护层应具有足够的强度、耐久性和抗冲击能力。保护层材料与构造应依据工程环境、施工条件及后续工况选择，可采用混凝土、挤塑板或标准砖砌体保护等。

7.4.4 注浆施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定；

7.4.5 预制构件张拉完毕并经检查合格后，应及时进行孔道注浆。注浆应饱满、密实，其材料及性能应符合设计要求。注浆完毕并检验合格后，及时做好端部封闭。

7.5 设备与管线安装

7.5.1 设备与管线安装用预留管道、孔洞及预埋件应在预制构件生产时预留，其位置、数量应符合设计文件及相关规定的要求；

7.5.2 设备安装应符合设计文件及相关规定的要求；

7.5.3 管线安装应符合设计文件及相关规定的要求。

7.6 覆土回填

7.6.1 回填前，应对预制构件拼缝处外包防水卷材做好保护。

7.6.2 回填材料和压实系数应符合设计文件要求。当肥槽宽度受到限制时可采用泡沫混凝土或流态固化土进行回填。

7.6.3 回填施工时，应对称均匀进行，并分层夯实。

7.6.4 回填施工时，应监测隧道结构变形情况。

重庆工程建设

8 质量验收

8.1 一般规定

8.1.1 隧道混凝土结构工程质量验收的划分、程序、组织及合格标准，应符合本标准、现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 及相关专业验收规范的规定。

8.1.2 质量验收均应在施工单位自行检查评定合格的基础上进行。

8.1.3 承担工程质量的检测单位应具有相应资质，检测试验所需的技术标准应符合相关规定。

8.1.4 预制构件制作、拼装及整体结构的质量验收，除符合本标准相关要求外，尚应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《混凝土结构工程施工规范》GB 50666、《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1 和《城市隧道工程施工质量验收规范》DBJ 50 的相关规定。

8.2 分部分项验收

8.2.1 明挖装配式拱形隧道结构工程的质量验收，应以表 8.2.1 作为其子分部、分项工程及检验批划分的依据，并应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定，且其验收程序与组织应按重庆市现行有关规定执行。

表 8.2.1　明挖装配式拱形隧道结构工程子分部、分项工程

分部工程	子分部工程	分项工程	检验批
隧道结构	装配式结构	模具	每批次
		钢筋	每批次
		混凝土	每批次
		预制构件制作	每批次
		预制构件进场验收	每 6 环，少于 6 环按 6 环算
		预制构件拼装	每环
		连接部位注浆	每环
	现浇结构	模板	每批次
		钢筋	每批次
		混凝土	每批次
		外观成型	每批次
	回填	肥槽回填	每 5 环，少于 5 环按 5 环算
		底板仰拱回填	每 5 环，少于 5 环按 5 环算
隧道防水	—	预制衬砌结构自防水	每 10 环，少于 10 环按 10 环算
		预制衬砌结构接缝防水	每 10 环，少于 10 环按 10 环算

8.2.2　检验批主控项目的质量经抽样检验应全部合格。检验批的一般项目的质量经抽样检验应合格，有允许偏差的抽查点，除有专门要求外，合格率应达到 80%及以上，且不合格点的最大偏差不得大于规定允许偏差的 1.5 倍。

8.2.3　装配式混凝土结构连接节点及叠合构件浇筑混凝土前应完成下列隐蔽项目的现场验收：

1　钢筋的牌号、规格、数量、位置、间距；

2　钢筋接头的连接方式、位置、数量、接头百分率；

3　灌浆套筒的型号、数量、位置及灌浆孔、出浆孔、排气孔的位置；

4　预埋件的规格、数量、位置；

5　预制构件与现浇结构结合面的构造做法。

8.2.4　分部验收时，除应按现行国家标准《混凝土结构工程施工

质量验收规范》GB 50204 要求提供的文件和记录外，尚应提供下列文件和记录：

1 工程设计文件、预制构件制作和安装的深化设计图；

2 预制构件、主要材料及配件的质量证明文件、进场验收记录、抽样复验报告；

3 预制构件安装施工记录；

4 后浇混凝土部位的隐蔽工程检查验收文件；

5 后浇混凝土、灌浆材料强度检测报告；

6 防水施工质量检验记录；

7 装配式结构分项工程质量验收文件；

8 装配式结构工程重大质量问题的处理方案和验收记录；

9 装配式结构的其他文件和记录。

8.3 主体结构工程验收

8.3.1 主体分部（子分部）施工完成后，施工单位应组织相关人员检查，在自检合格的基础上报监理机构总监理工程师（建设单位项目负责人）。

8.3.2 装配式隧道结构子分部工程验收时应提交下列资料和记录：

1 工程设计单位已确认的预制构件深化设计图、设计变更文件；

2 装配式隧道结构施工所用的各种材料及预制构件的各种质量相关证明文件；

3 预制构件安装施工验收记录；

4 钢筋套筒灌浆连接的施工记录；

5 连接构造节点的隐蔽工程验收文件；

6 后浇节点的混凝土或灌浆浆体强度检测报告；

7 密封材料及接缝防水检测报告；

8 分项工程验收记录；

9　装配式隧道结构实体检验记录；

10　工程的重大质量问题的处理方案和验收记录；

11　其他质量保证资料。

8.3.3　装配式混凝土结构子分部工程施工质量验收合格应符合下列规定：

1　检验批质量验收合格；

2　有关分项工程施工质量验收合格；

3　质量控制资料完整且符合要求；

4　观感质量验收合格；

5　结构实体检验满足设计或本规程的要求。

8.3.4　装配式隧道结构子分部工程施工质量验收合格后，应将所有的验收文件存档备案。

8.4　结构实体检验

8.4.1　结构实体检验的内容包括结构性能和连接性能。预制构件进场时，施工总承包方应对构件厂提供的相关检测结果进行核查，并由专业监理工程师审查备案。

8.4.2　后浇混凝土的强度检验，应以在浇筑地点留置并与结构实体同条件养护的试件强度为依据。当无法依据同条件试件评定时，可根据合同约定采用非破损或局部破损的方法检验，并应符合按国家现行有关标准的规定。

8.4.3　对钢筋保护层厚度检验，抽样数量、检验方法、允许偏差和合格条件应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

8.4.4　结构实体混凝土强度的合格判定，应以同条件养护的混凝土试件的强度评定结果为依据，且评定结果应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定；当无法取得同条件养护试件、试件强度被判为不合格或钢筋保护层厚度

不满足要求时，应委托具有相应资质的检测机构按国家现行有关标准进行检测复核。

8.5 验收内容

8.5.1 模具验收检查应符合表 8.5.1 的规定。

表 8.5.1 模具验收检查项目表

序号	项目			相关规定	检验方法
1	主控项目	模具承载能力、刚度、稳定性、密封性及外形尺寸		检查产品合格证	尺量、观察
2		模具验收		对照技术文件核查模具	观察
3		模具的材料和配件质量		检查模具设计图纸要求	观察
4		模具部件和预埋件的连接固定		—	观察
5		模具的缝隙不漏浆		—	观察
1	一般项目	模板平面几何尺寸偏差		±2	尺量
2		模板板面对角线差		3	尺量
3		板面平整度		3	2m 靠尺和塞尺量
4		相邻板面拼缝高低差		2	尺量
5		相邻模具之间的拼缝宽度		2	塞尺量
6		连接件	中心线位置	±3	钢尺检查
			安装垂直度	1/40	拉水平线、竖直线测量两端差值且满足连接套管施工误差要求
7		预埋件(螺栓、吊具等)	中心线位置	±5	钢尺检查
			外露长度	+5～0	钢尺检查
8		预留孔洞	中心线位置	±5	钢尺检查
			尺寸	+8，0	钢尺检查
9		其他需要先安装的部件		种类、数量、位置、固定状况	与构件制作图对照及目视

8.5.2 钢筋验收检查应符合表 8.5.2-1、表 8.5.2-2、表 8.5.2-3 的规定。

表 8.5.2-1 钢筋原材料验收检查项目表

序号	项目		相关规定	检验方法
1	主控项目	钢筋原材料质量	屈服长度、抗拉强度、伸长率、弯曲性能和重量偏差检验	进行相关试验
2		预埋件钢板原材质量	力学性能、尺寸偏差、重量偏差等检验	尺量，进行相关试验
3		抗震用钢筋强度实测值	力学性能检验	进行相关试验
4		连接套筒质量	材料、品种、规格检查	进行相关试验
5		钢筋保护层垫块质量	抗压强度、耐久性及厚度	检查质量证明文件和检测报告
1	一般项目	钢筋外观质量	材料进场时和使用前检查	观察
2		连接套筒外观质量	裂纹、锈斑或浮锈等缺陷检查	观察和量规

表 8.5.2-2 钢筋加工验收检查项目表

序号	项目		相关规定	检验方法
1	主控项目	钢筋弯弧内直径	满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》要求	尺量
2		纵向受力钢筋弯折后平直段长度	满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》要求	尺量
3		箍筋弯钩形式	满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》要求	尺量
4		盘卷和直条钢筋调直后的断后伸长率和重量偏差检验	满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》要求	尺量
1	一般项目	受力钢筋顺长度方向全长的净尺寸	±10mm	尺量
2		弯起钢筋的弯折位置	±20mm	尺量
3		箍筋外廓尺寸	±5mm	尺量

表 8.5.2-3　钢筋安装验收检查项目表

序号	项目			相关规定	检验方法
1	主控项目	受力钢筋的品种、级别、规格和数量		符合设计要求	观察，用钢尺量
2		受力钢筋的安装位置、锚固方式		符合设计要求	观察，用钢尺量
3		保护层垫块规格、数量、位置		符合设计要求	观察，用钢尺量
1	一般项目	受力钢筋间距	两排及以上排距	±5	尺量
			同排间距	±10	尺量
2		箍筋、横向水平钢筋、螺旋筋间距		0，−20	尺量
3		钢筋骨架	长	±10	尺量
4			宽、高或直径	±5	尺量
5		弯起钢筋位置		±20	尺量
6		保护层厚度		±5	尺量

8.5.3　混凝土验收应符合表 8.5.3-1、表 8.5.3-2、表 8.5.3-3 的规定。

表 8.5.3-1　混凝土原材料验收检查项目表

序号	项目		相关规定	检验方法
1	主控项目	水泥质量	满足《钢筋混凝土与砌体工程施工质量验收标准》要求	进行相关试验
2		外加剂质量		
1	一般项目	矿物掺合料质量及掺量		
2		细骨料质量		
3		粗骨料质量		
4		拌合用水		

表 8.5.3-2　混凝土拌合物验收检查项目表

序号	项目		相关规定	检验方法
1	主控项目	预拌混凝土质量	满足《预拌混凝土》要求	检查质量证明文件
2		混凝土拌合物不离析	—	观察
3		混凝土总氯离子含量	进行总氯离子含量和总三氧化硫含量计算	进行相关试验
4		混凝土总碱含量	满足《钢筋混凝土与砌体工程施工质量验收标准》要求	进行相关试验
5		开盘鉴定	同一配合比的混凝土，取样不得少于一次	检查开盘鉴定材料和强度试验报告
1	一般项目	混凝土耐久性	抽取试件进行耐久性试验	进行相关试验

表 8.5.3-3　混凝土施工验收检查项目表

序号	项　目		相关规定	检验方法
1	主控项目	混凝土坍落度	每施工 $50m^3$ 或每工班测试不应少于一次	进行坍落度测试
2		混凝土入模温度	每施工 $50m^3$ 或每工班至少测温 3 次并填写测温记录	温度测试
3		混凝土强度等级	同一配合比混凝土，每拌制 100 盘且不超过 $100m^3$，取样不得少于一次；每工作班拌制不足 100 盘时，取样不得少于一次；连续浇筑超过 $1000m^3$ 时，每 $200m^3$ 取样不得少于一次。每次取样应至少留置一组试件	检查施工记录及试件强度试验报告
4		抗渗混凝土强度等级	连续浇筑混凝土每 $500m^3$ 应留置一组 6 个抗渗试件，且每项工程不得少于两组	检查抗渗标准养护试件 56d 试验报告
5		混凝土初凝时间	凝土运输、浇筑及间歇的全部时间不应超过混凝土的初凝时间	观察，检查施工记录

续表8.5.3-3

序号	项目		相关规定	检验方法
1	一般项目	砂石料含水率	每工作班检查一次	进行相关试验
2		后浇带留设位置	应符合设计要求	观察
3		后浇带混凝土结合面	应洒水湿润，但不得有水	观察

8.5.4 预制构件制作验收应符合表8.5.4的规定。

表8.5.4 预制构件制作验收检查项目表

序号	项目			相关规定	检验方法
1	主控项目	构件出厂质量合格证明文件和质量检验记录		产品合格证和混凝土强度检验报告应符合国家现行有关标准的规定和设计要求	检查结构性能检验报告或实体检验报告
2		混凝土强度			
3		隐蔽工程检查记录和检验合格单		检查记录和检验合格单必须真实、准确	观察
4		预埋套筒通透性检查		进行通透性检查，确保无堵塞	灯光照射、铁丝通透
5		外观质量严重缺陷		外观质量不应有严重缺陷	观察、检查处理
6		预埋件、预留钢筋接驳器等的材料质量、规格和数量		材料质量、规格和数量应符合设计要求	观察
7		粗糙面和键槽		应符合设计要求	观察
1	一般项目	外观质量一般缺陷			
2		外形尺寸	长度	−3.0～+1.0mm	尺量
3			高度	−2.0～+1.0mm	尺量
4			宽度	−1.5～+1.0mm	尺量
5			厚度	−1.0～+3.0mm	尺量
6			弧长	±4mm	尺量
7			纵向、环向平整度	0～2mm	尺量
8			榫槽尺寸公差	±1.0mm	尺量

续表8.5.4

序号	项目				相关规定	检验方法
9	一般项目	预埋件	预埋吊钉	中心位置	2.0mm	尺量
10				安装垂直度	3°	尺量
11			预埋槽道	中心线位置	2.0mm	尺量
12				安装贴合度	2.0mm	尺量
13			预埋注浆管	中心位置	2.0mm	尺量
14				安装垂直度	3°	尺量
15			预埋螺栓套筒	中心位置	2.0mm	尺量
16				安装垂直度	3°	尺量
17			预紧装置固定端	中心位置	2.0mm	尺量
18				安装垂直度	3°	尺量
19			预紧装置孔道	中心位置	2.0mm	尺量
20				孔口堵塞	5.0mm	尺量
21			预留钢筋接驳器	中心位置	2.0mm	尺量
22				安装垂直度	3°	尺量
23			预埋钢板	中心位置	+5.0mm	尺量
24				安装贴合度	+2.0mm	尺量

8.5.5 预制构件进场验收应符合表8.5.5的规定。

表8.5.5 预制构件进场验收检查项目表

序号	项目		相关规定	检验方法
1	主控项目	预制构件强度与抗渗等级	混凝土强度与抗渗等级应符合设计文件要求	核查强度报告、抗渗报告及产品合格证
2		吊钉材质及物理性能	符合设计文件要求	检查物理力学性能检测报告及材质报告
3		预留钢筋、连接套筒、注浆管、预埋沟槽、预埋件和预留孔洞等的规格、数量等	符合设计要求	观察、测量
4		外观质量	不应该有严重缺陷	观察检查，钢尺量测，仪器检测
5		预制构件键槽成型质量	满足设计要求	观察、测量

续表8.5.5

序号	项目		相关规定	检验方法
1	一般项目	产品信息标识	应在明显部位标识构件产品信息	观察

8.5.6 预制构件拼装验收应符合表 8.5.6 的规定。

表 8.5.6 预制构件拼装验收检查项目表

序号	项目		相关规定	检验方法
1	主控项目	安装和连接方式	应符合设计要求	观察
2		吊装、临时支撑和固定措施	符合已批准专项方案的要求	观察
3		预紧装置锁定值	应符合设计要求	检查张拉记录
4		外观质量严重缺陷	不应有严重缺陷	观察、测量
1	一般项目	外观质量一般缺陷	不应有一般缺陷	观察、测量
2		固定型钢组合梁与预制衬砌环接触端面的整体平整度	0～2mm	测量
3		预紧装置连接节点的孔位偏差	±5mm	测量
4		环向接缝容许宽度	每柱跨累计偏差 0mm；相邻环±2mm	测量
5		相邻块的纵向接缝	0～2mm	测量
6		前后环相邻块竖向高差错台	±5mm	测量
7		环向、纵向预紧装置轴线定位	0～5mm	测量
8		相邻衬砌水平向	±2mm	测量
9		预制衬砌环相对车站中心线位置	±2mm	测量
10		接缝部位防水构造	应符合设计要求	观察

8.5.7 连接部位注浆验收应符合表 8.5.7 的规定。

表 8.5.7　连接部位注浆验收检查项目表

序号	项目		相关规定	检验方法
1	主控项目	注浆原材料、参数及配比	应符合设计文件要求	检查质量证明文件、配合比报告、施工记录
2		注浆压力和注浆量	应符合设计文件要求	检查注浆记录
3		接缝注浆	应符合设计文件要求	检查注浆记录
1	一般项目	预制构件接缝注浆效果	应保证预制构件填充密实	检查注浆记录或无损检测等方法

8.5.8　回填验收应符合表 8.5.8 的规定。

表 8.5.8　回填验收检查项目表

序号	项目		相关规定	检验方法
1	主控项目	回填混凝土强度	凝土的强度等级必须符合设计要求	检查施工记录及试件强度试验报告
2		混凝土坍落度	不超过理论配合比坍落度的控制范围	进行坍落度测试
3		混凝土入模温度	符合设计要求	温度测试
4		混凝土浇筑	全部时间不应超过混凝土的初凝时间	观察，检查施工记录
1	一般项目	混凝土原材料称量偏差	控制在总称量的 2%以内	检查施工记录
2		肥槽分级回填	应满足设计文件要求	检查施工记录

8.5.9　防水验收应符合表 8.5.9 的规定。

表 8.5.9　防水验收检查项目表

序号	项目		相关规定	检验方法
1	主控项目	接缝防水材料质量	材料品种、规格、性能必须满足设计要求	检查产品合格证、产品性能检测报告和材料进场检验报告
2		渗水量	应符合设计要求	观察检查和检查渗漏水检测记录
1	一般项目	密封垫及沟槽断面尺寸	应符合设计要求	观察检查和检查隐蔽工程验收记录
2		密封垫安装质量	应套箍和粘贴牢固，不得歪斜、扭曲	观察
3		预制构件嵌缝槽质量	应符合设计要求	观察检查和检查隐蔽工程验收记录
4		嵌缝材料嵌填质量	应密实、连续、饱满，表面平整，密贴牢固	观察

重庆工程建设

附录 A　质量验收记录表

A.1　装配式结构

A.1.1　钢模具检验批验收可按表 A.1.1 验收记录。

表 A.1.1　钢模具检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定					施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	模具承载能力、刚度、稳定性、密封性及外形尺寸				
	2	模具验收				
	3	模具的材料和配件质量				
	4	模具部件和预埋件的连接固定				
	5	模具的缝隙应不漏浆				
一般项目	1	模板平面几何尺寸偏差		±2		
	2	模板板面对角线差		3		
	3	板面平整度		3		
	4	相邻板面拼缝高低差		2		
	5	相邻模具之间的拼缝宽度		2		
	6	连接件	中心线位置	±3		
	7		安装垂直度	1/40		
	8	预埋件(螺栓、吊具等)	中心线位置	±5		
	9		外露长度	+5～0		
	10	预留孔洞	中心线位置	±5		
	11		尺寸	+8,0		
	12	其他需要先安装的部件	种类、数量、位置、固定状况			

施工单位检查评定结果	项目专业质量检查员：　　年　　月　　日
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　　月　　日

A.1.2 钢筋加工检验批可按表 A.1.2 验收记录。

表 A.1.2 钢筋加工检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

		施工质量验收标准的规定		施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	钢筋弯弧内直径			
	2	纵向受力钢筋弯折后平直段长度			
	3	箍筋弯钩形式			
	4	盘卷和直条钢筋调直后的断后伸长率和重量偏差检验			
	5	直螺纹连接质量			
一般项目	1	受力钢筋顺长度方向全长的净尺寸	±10mm		
	2	弯起钢筋的弯折位置	±20mm		
	3	箍筋外廓尺寸	±5mm		

施工单位检查结果	项目专业质量检查员：　　年　　月　　日
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　　月　　日

A.1.3 钢筋连接检验批可按表 A.1.3 验收记录。

表 A.1.3 钢筋连接检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定					施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	钢筋的连接方式、位置				
	2	接头质量				
	3	机械连接拧紧扭矩值				
一般项目	1	钢筋接头的设置				
	2	绑扎接头的搭接长度				
	3	电弧焊接头	帮条焊中心线纵向偏移	0.3d		
	4		接头处弯折角	3°		
			接头处钢筋轴线偏移	0.1d		
			焊缝厚度	+0.05d～0		
			焊缝宽度	+0.1d～0		
			焊缝长度	−0.3d		
			横向咬边深度	0.5mm		
	5	闪光对焊接头	接头处钢筋轴线偏移	0.1d 且不大于 2mm		
			弯折角	3°		
			接头表面裂纹	不允许		
	6	机械连接接头螺纹		不大于 2P		
	7	套筒挤压接头外观质量				
	8	机械连接、焊接的接头面积百分率				
	9	绑扎搭接接头面积百分率和搭接长度				
	10	搭接长度范围内的箍筋				

施工单位检查结果	项目专业质量检查员： 年 月 日
监理单位验收结论	监理工程师： 年 月 日

A.1.4 钢筋安装检验批可按表 A.1.4 验收记录。

表 A.1.4 钢筋安装检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定					施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	受力钢筋的品种、级别、规格和数量				
	2	受力钢筋的安装位置、锚固方式				
	3	保护层垫块规格、数量、位置				
	4	芯模入笼时机和完整性				
一般项目	1	钢筋安装允许偏差	绑扎钢筋网	长、宽	±10mm	
				网眼尺寸	±20mm	
			绑扎钢筋骨架	长	±10mm	
				宽、高	±5mm	
			受力钢筋	间距	±10mm	
				排距	±5mm	
				保护层厚度	−5，+10mm	
			绑扎箍筋、横向钢筋间距		±20mm	
			钢筋弯起点位置		±20mm	
			预埋件	中心线位置	5mm	
				水平高差	+2，0mm	

施工单位检查结果	项目专业质量检查员：　　年　　月　　日
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　　月　　日

A.1.5 预埋件检验批可按表 A.1.5 验收记录。

表 A.1.5 预埋件检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定					施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	隐蔽工程检查记录、检验合格单				
	2	预留吊钉、注浆管、螺栓套筒、预紧装置固定端、钢筋接驳器、定位销等检验报告				
	3	预埋件和预留孔洞的规格、数量				
	4	预埋件用钢材及焊条的性能				
一般项目	1	预埋吊钉	中心位置	±2mm		
			安装垂直度	3°		
		预埋沟槽	中心线位置	±2mm		
			安装贴合度	2mm		
		预埋注浆管	中心位置	±2mm		
			安装垂直度	3°		
		预埋螺栓套筒	中心位置	±2mm		
			安装垂直度	3°		
		预紧装置固定端	中心位置	±2mm		
			安装垂直度	3°		
		预紧装置孔道	中心位置	±2mm		
			孔口堵塞			
		预埋钢筋接驳器	中心线位置	±2mm		
			垂直度	2mm		
	2	预埋钢板	中心位置	+5.0mm		
			安装贴合度	+2.0mm		

施工单位检查评定结果	项目专业质量检查员：　　年　　月　　日
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　　月　　日

重庆工程建设

A.1.6 混凝土施工检验批可按表 A.1.6 验收记录。

表 A.1.6 混凝土施工检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位		
施工单位		专业工长		项目经理		
施工执行标准名称及编号						
分包单位		分包项目经理		施工班组长		
施工质量验收标准的规定				施工单位检查评定记录		监理单位验收记录
主控项目	1	混凝土坍落度				
	2	混凝土入模温度				
	3	混凝土强度等级				
	4	后浇带混凝土强度				
	5	同条件试件抗压强度				
	6	抗渗混凝土强度等级				
	7	混凝土初凝时间				
一般项目	1	砂石料含水率				
	2	后浇带留设位置				
	3	后浇带混凝土结合面				
施工单位检查结果	项目专业质量检查员：　　年　月　日					
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　月　日					

A.1.7 预制构件制作检验批可按表 A.1.7 验收记录。

表 A.1.7 预制构件制作检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定					施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	构件出厂质量合格证明文件和质量检验记录				
	2	混凝土强度				
	3	隐蔽工程检查记录和检验合格单				
	4	预埋套筒通透性检查				
	5	外观质量严重缺陷				
	6	预埋件、预留钢筋接驳器等的材料质量、规格和数量				
	7	粗糙面和键槽				
一般项目	1	外观质量一般缺陷				
	2	外形尺寸	长度		−3.0～+1.0mm	
			高度		−2.0～+1.0mm	
			宽度		−1.5～+1.0mm	
			厚度		−1.0～+3.0mm	
			弧长		±4mm	
			纵向、环向平整度		0～2mm	
			榫槽尺寸公差		±1.0mm	
			芯棒、螺栓及定位销孔位中心距偏差		0～1.0mm	
	3	预埋件	预埋吊钉	中心位置	2.0mm	
				安装垂直度	3°	
			预埋槽道	中心线位置	2.0mm	
				安装贴合度	2.0mm	
			预埋注浆管	中心位置	2.0mm	
				安装垂直度	3°	
			预埋螺栓套筒	中心位置	2.0mm	
				安装垂直度	3°	
			预紧装置固定端	中心位置	2.0mm	
				安装垂直度	3°	
			预紧装置孔道	中心位置	2.0mm	
				孔口堵塞	5.0mm	
			预留钢筋接驳器	中心位置	2.0mm	
				安装垂直度	3°	
			预埋钢板	中心位置	+5.0mm	
				安装贴合度	+2.0mm	

施工单位检查评定结果	项目专业质量检查员： 年 月 日
监理单位验收结论	监理工程师： 年 月 日

A.1.8 预制构件进场验收检验批可按表 A.1.8 验收记录。

表 A.1.8 预制构件进场验收检验批质量验收记录

(子)单位工程名称			分项单位工程名称		验收部位		
施工单位			专业工长		项目经理		
施工执行标准名称及编号							
分包单位			分包项目经理		施工班组长		
施工质量验收标准的规定					施工单位检查评定记录		监理单位验收记录
主控项目	1	预制构件强度与抗渗等级					
	2	吊钉材质及物理性能					
	3	预留钢筋、连接套筒、注浆管、预埋沟槽、预埋件和预留孔洞等的规格、数量等					
	4	外观质量					
	5	预制构件键槽成型质量					
一般项目	1	产品信息标识					
施工单位检查结果		项目专业质量检查员： 年 月 日					
监理单位验收结论		监理工程师： 年 月 日					

重庆工程建设

A.1.9 预制构件拼装验收检验批可按表 A.1.9 验收记录。

表 A.1.9 预制构件拼装验收检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

		施工质量验收标准的规定		施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	安装和连接方式			
	2	吊装、临时支撑和固定措施			
	3	预紧装置锁定值			
	4	外观质量严重缺陷			
一般项目	1	外观质量一般缺陷			
	2	固定型钢组合梁与预制衬砌环接触端面的整体平整度	0～2mm		
	3	预紧装置连接节点的孔位偏差	±5mm		
	4	环向接缝容许宽度	每柱跨累计偏差 0mm；相邻环±2mm		
	5	相邻块的纵向接缝	0～2mm		
	6	前后环相邻块竖向高差错台	±5mm		
	7	环向、纵向预紧装置轴线定位	0～5mm		
	8	相邻衬砌水平向	±2mm		
	9	预制衬砌环相对车站中心线位置	±2mm		
	10	接缝部位防水构造			

施工单位检查评定结果	项目专业质量检查员：　　年　　月　　日
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　　月　　日

A.1.10 连接部位注浆验收检验批可按表 A.1.10 验收记录。

表 A.1.10 预制构件拼装验收检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

		施工质量验收标准的规定	施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	注浆原材料、参数及配比		
	2	注浆压力和注浆量		
	3	接缝注浆		
一般项目	1	预制构件接缝注浆效果		

施工单位检查评定结果	项目专业质量检查员：　　年　月　日
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　月　日

重庆工程建设

A.2 现浇结构

A.2.1 模板检验批可按表 A.2.1 验收记录。

表 A.2.1 模板验收检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称			分项工程名称		验收部位	
施工单位			专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号						
分包单位			分包项目经理		施工班组长	
施工质量验收标准的规定					施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	衬砌模板台车、移动模架检查		符合规范要求		
	2	模板安装检查		必须稳固牢靠,端头模板支立应垂直,接缝严密,不得漏浆,表面应清理干净并涂刷隔离剂,无积水和杂物		
	3	模板拆除		符合规范要求		
	4	模板的缝隙应不漏浆				
一般项目	1	拆除非承重模板时,砼强度		≥5MPa		
	2	模板安装允许偏差	边墙平面位置	±15mm		
	3		拱部高程	+10,0mm		
	4		相邻模板高差	5mm		
	5		模板平整度	3mm		
	6		相邻段表面错台	±10mm		
	7	预留孔洞	中心线位置	5mm		
			尺寸	+10,0 mm		
	8	预埋件	中心线位置	5 mm		
			水平高程	±5 mm		
施工单位检查评定结果		项目专业质量检查员: 年 月 日				
监理单位验收结论		监理工程师: 年 月 日				

A.2.2 钢筋加工检验批可按表 A.2.2 验收记录。

表 A.2.2 钢筋加工检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定				施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	钢筋弯弧内直径			
	2	纵向受力钢筋弯折后平直段长度			
	3	箍筋弯钩形式			
	4	盘卷和直条钢筋调直后的断后伸长率和重量偏差检验			
	5	直螺纹连接质量			
一般项目	1	受力钢筋顺长度方向全长的净尺寸	±10mm		
	2	弯起钢筋的弯折位置	±20mm		
	3	箍筋外廓尺寸	±5mm		

施工单位检查结果	项目专业质量检查员：　　年　　月　　日
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　　月　　日

A.2.3 钢筋连接检验批可按表 A.2.3 验收记录。

表 A.2.3 钢筋连接检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定					施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	钢筋的连接方式、位置				
	2	接头质量				
	3	机械连接拧紧扭矩值				
一般项目	1	钢筋接头的设置				
	2	绑扎接头的搭接长度				
	3	电弧焊接头	帮条焊中心线纵向偏移	0.3d		
	4	电弧焊接头	接头处弯折角	3°		
			接头处钢筋轴线偏移	0.1d		
			焊缝厚度	+0.05d～0		
			焊缝宽度	+0.1d～0		
			焊缝长度	−0.3d		
			横向咬边深度	0.5mm		
	5	闪光对焊接头	接头处钢筋轴线偏移	0.1d 且不大于 2mm		
			弯折角	3°		
			接头表面裂纹	不允许		
	6	机械连接接头螺纹		不大于 2P		
	7	套筒挤压接头外观质量				
	8	机械连接、焊接的接头面积百分率				
	9	绑扎搭接接头面积百分率和搭接长度				
	10	搭接长度范围内的箍筋				

施工单位检查结果	项目专业质量检查员： 年 月 日
监理单位验收结论	监理工程师： 年 月 日

A.2.4 钢筋安装检验批可按表 A.2.4 验收记录。

表 A.2.4 钢筋安装检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定						施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	受力钢筋的品种、级别、规格和数量					
	2	受力钢筋的安装位置、锚固方式					
	3	保护层垫块规格、数量、位置					
	4	芯模入笼时机和完整性					
一般项目	1	钢筋安装允许偏差	绑扎钢筋网	长、宽	±10mm		
				网眼尺寸	±20mm		
			绑扎钢筋骨架	长	±10mm		
				宽、高	±5mm		
			受力钢筋	间距	±10mm		
				排距	±5mm		
				保护层厚度	−5,+10mm		
			绑扎箍筋、横向钢筋间距		±20mm		
			钢筋弯起点位置		±20mm		
			预埋件	中心线位置	5mm		
				水平高差	+2,0mm		

施工单位检查结果	项目专业质量检查员：　　年　　月　　日
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　　月　　日

A.2.5 混凝土施工检验批可按表 A.2.5 验收记录。

表 A.2.5 混凝土施工检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定			施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
主控项目	1	混凝土坍落度		
	2	混凝土入模温度		
	3	混凝土强度等级		
	4	后浇带混凝土强度		
	5	同条件试件抗压强度		
	6	抗渗混凝土强度等级		
	7	混凝土初凝时间		
一般项目	1	砂石料含水率		
	2	后浇带留设位置		
	3	后浇带混凝土结合面		

施工单位检查结果	项目专业质量检查员：　　年　月　日
监理单位验收结论	监理工程师：　　年　月　日

重庆工程建设

A.2.6 外观成型施工验收检验批可按表 A.2.6 验收记录。

表 A.2.6 外观成型施工验收检验批质量验收记录

<table>
<tr><td colspan="2">单位(子单位)
工程名称</td><td colspan="2"></td><td>分项工程
名称</td><td></td><td>验收部位</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">施工单位</td><td colspan="2"></td><td>专业工长</td><td></td><td>项目经理</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">施工执行标准名称及编号</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">分包单位</td><td colspan="2"></td><td>分包
项目经理</td><td></td><td>施工
班组长</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">施工质量验收标准的规定</td><td colspan="2">施工单位检查评定记录</td><td>监理单位
验收记录</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主控项目</td><td>1</td><td colspan="3">外观质量</td><td>7.4.3</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="3">位置和尺寸偏差</td><td>7.4.5</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">一般项目</td><td>1</td><td colspan="3">外观质量</td><td>7.4.4</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="3">位置和尺寸偏差</td><td>7.4.6</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">施工单位
检查结果</td><td colspan="6">项目专业质量检查员：　　年　　月　　日</td></tr>
<tr><td colspan="2">监理单位
验收结论</td><td colspan="6">监理工程师：　　年　　月　　日</td></tr>
</table>

重庆工程建设

A.3 回 填

A.3.1 底板仰拱回填检验批可按表 A.3.1 验收记录。

表 A.3.1 底板仰拱回填检验批质量验收记录

<table>
<tr><td colspan="2">单位(子单位)
工程名称</td><td></td><td>分项工程
名称</td><td></td><td>验收部位</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">施工单位</td><td></td><td>专业工长</td><td></td><td>项目经理</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">施工执行标准名称及编号</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">分包单位</td><td></td><td>分包
项目经理</td><td></td><td>施工
班组长</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">施工质量验收标准的规定</td><td colspan="2">施工单位检查评定记录</td><td>监理单位
验收记录</td></tr>
<tr><td rowspan="4">主控项目</td><td>1</td><td colspan="2">回填混凝土强度</td><td></td><td colspan="2"></td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">混凝土坍落度</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">混凝土入模温度</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">混凝土浇筑</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">一般项目</td><td>1</td><td colspan="2">混凝土原材料称量偏差</td><td></td><td colspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">回填环数</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">施工单位
检查结果</td><td colspan="6">项目专业质量检查员：　　年　　月　　日</td></tr>
<tr><td colspan="2">监理单位
验收结论</td><td colspan="6">监理工程师：　　年　　月　　日</td></tr>
</table>

重庆工程建设

A.3.2 肥槽回填检验批可按表 A.3.2 验收记录。

表 A.3.2 底板仰拱回填检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称			分项工程名称		验收部位		
施工单位			专业工长		项目经理		
施工执行标准名称及编号							
分包单位			分包项目经理		施工班组长		
施工质量验收标准的规定					施工单位检查评定记录		监理单位验收记录
主控项目	1	回填混凝土强度					
	2	混凝土坍落度					
	3	混凝土入模温度					
	4	混凝土浇筑					
一般项目	1	混凝土原材料称量偏差					
	2	肥槽分级回填					
施工单位检查结果		项目专业质量检查员： 年 月 日					
监理单位验收结论		监理工程师： 年 月 日					

重庆工程建设

A.3.3 保护性回填检验批可按表 A.3.3 验收记录。

表 A.3.3 保护性回填检验批质量验收记录

单位(子单位)工程名称		分项工程名称		验收部位	
施工单位		专业工长		项目经理	
施工执行标准名称及编号					
分包单位		分包项目经理		施工班组长	

施工质量验收标准的规定				施工单位检查评定记录	监理单位验收记录
一般项目	1	回填厚度(mm)	≤300		
	2	两侧回填高度差(mm)	≤500		
	3	坡度	不大于设计		
	4	回填压实质量	符合设计要求		
	5	墙背回填顺序	应两侧同时进行		
	6	隔水层应与边、仰坡搭接	明洞粘土隔水层应与边、仰坡搭接良好		
	7	坡面及排水	面平顺、密实,排水畅通		

施工单位检查结果	项目专业质量检查员： 年 月 日
监理单位验收结论	监理工程师： 年 月 日

重庆工程建设

A.4 表观质量验收

A.4.1 表观质量检验批可按表 A.4.1 验收记录。

表 A.4.1 表观质量检验批质量验收记录

工程名称			建设单位		
施工单位			监理单位		
序号	检查项目	设计要求及规范规定	最小/实际抽样数量	验收记录	检查验收
1	隧道渗漏水情况	符合设计及规范要求	/		
2	洞口绿化	符合设计及规范要求	/		
3	隧道排水情况	符合设计及规范要求	/		
4	结构有无裂缝	符合设计及规范要求	/		
5	隧道总体线型顺直情况	符合设计及规范要求	/		
施工单位检查结果	项目技术负责人(签字)： 年 月 日				
监理单位验收结论	总监理工程师(签字)： 年 月 日				

重庆工程建设

A.4.2 轴线质量检验批可按表 A.4.2 验收记录。

表 A.4.2 轴线质量检验批质量验收记录

工程名称			建设单位		
施工单位			监理单位		
序号	检查项目	设计要求及规范规定	最小/实际抽样数量	验收记录	验收结果
1	隧道线路中线位置	符合设计及规范要求	/		
2	隧道线路中线高程	符合设计及规范要求	/		
3	车行道宽度	符合设计及规范要求	/		
4	净总宽	符合设计及规范要求	/		
5	净高	符合设计及规范要求	/		
施工单位检查结果	项目技术负责人(签字)： 年 月 日				
监理单位验收结论	总监理工程师(签字)： 年 月 日				

重庆工程建设

附录B　典型算例

B.1　典型算例1

某明挖隧道净高 H＝5m，净宽 B＝16.5m，明洞主体结构衬砌厚度 1000mm，仰拱采用现浇方案（C 块），拱部及边墙采用预制构件组成，预制部分划分为 2 块（A、B 块），环宽为 2 米，环向的各预制构件之间、纵向的环与环之间均采用全预制榫卯接头连接，接缝设置凹凸榫头和榫槽，通过接缝空隙内灌注浆液弥合接缝，以传递咬合剪力，强化弯曲抵抗作用及抗变形能力，确保结构传力的可靠性。拼装方式采用通缝拼装。

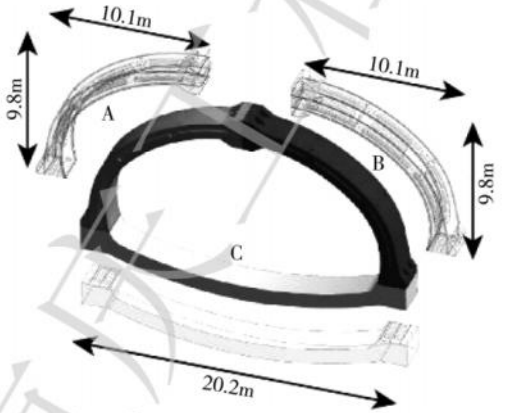


图 B.1-1　装配式隧道结构分块图

使用阶段隧道计算考虑较不利情况，进行包络设计。以下内容为最不利工况计算示意：

（1）计算荷载和接头参数

1）计算荷载

依据《公路隧道设计规范》(JTG D70-1-2018)附录 G 计算围岩压力：

侧压力系数：

$$\lambda=\tan^2(45°-\frac{\varphi}{2})=\tan^2(45°-\frac{36}{2})=0.26$$

$q=20*10+20=220kN/m$，$q_1=20*6=120kN/m$；

$E_1=220*0.26=57.2kN/m$，$E_2=(220+13*20)*0.26=124.8kN/m$；

$e_1=220*0.26=57.2kN/m$，$e_2=(220+120)*0.26=188.4kN/m$。

计算模型如下：

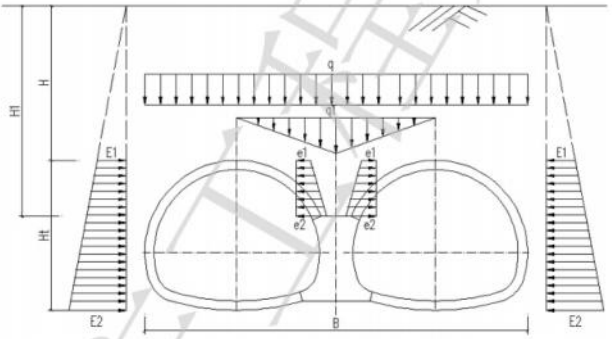


图 B.1-2　计算模型

2)采用刚度迭代法，接头参数如下：

AB 接头：最终刚度取值(2m 环宽)：抗弯刚度 4.39E+05kN·m/rad，切向刚度 1.17E+07kN/m，转角 θ 为 1.23E-03rad。

AC 接头：最终刚度取值(2m 环宽)：抗弯刚度 5.10E+04kN·m/rad，切向刚度 1.05E+07kN/m，转角 θ 为 1.17E-03rad。

BC 接头：最终刚度取值(2m 环宽)：抗弯刚度 1.38E+05kN·m/rad，切向刚度 1.05E+07kN/m，转角 θ 为 1.78E-03rad。

(2)按最不利工况计算内力

图 B. 1-3　弯矩图(每环)(kN · m)

图 B. 1-4　轴力图(每环)(kN)

图 B. 1-5　剪力图(每环)(kN)

(3)计算结果

为方便获取结构体系关键位置的分析结果,在结构模型上相对应的位置总共定义了 32 组关键截面,具体截面位置如图 B. 1-6。

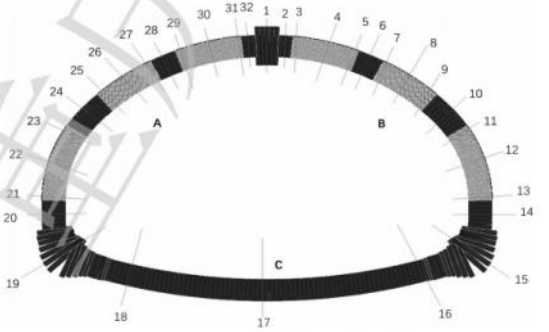


图 B. 1-6　验算节点位置图

根据各工况计算内力结果，对控制点内力值进行包络，内力包络值及配筋见下表：

表 B.1　明洞控制点内力包络值及配筋表(每环)(基本组合)

编号	弯矩 (kN·m)	轴力 (kN)	剪力 (kN)	计算配筋面积	实际配筋	实际配筋面积 (mm^2)	裂缝 (mm)
1	2844.659	−6656.296	44.481	7236	20^32	160840	——
3	2739.929	−6705.337	−159.861	4070	20^32	160840	——
9	−2020.660	−8801.328	−830.811	4070	20^32	160840	——
10	−2883.653	−9337.792	−442.332	4000	20^32	160840	——
11	−2988.707	−9755.269	578.493	2960	20^32	160840	——
14	−2878.722	−8474.079	−4037.200	8844	20^32	160840	——
15	−5982.462	−9478.247	387.056	14472	20^32	160840	0.144
16	4063.806	−6801.908	25.845	12864	20^32	160840	0.106
17	1603.333	−6937.459	−62.100	4000	20^32	160840	——
18	4081.598	−6556.429	−261.116	12864	20^32	160840	0.113
19	−3791.170	−8174.570	−712.623	7365	20^32	160840	——
20	−2855.854	−7334.467	891.014	7236	20^32	160840	——
21	−2539.997	−7290.292	−64.686	4070	20^32	160840	——
22	−2861.883	−7645.209	−320.584	2960	20^32	160840	——
23	−3410.222	−8377.792	−1.720	2960	20^32	160840	——
24	−3027.209	−8092.768	874.329	8844	20^32	160840	——

(4)接头承载力校核

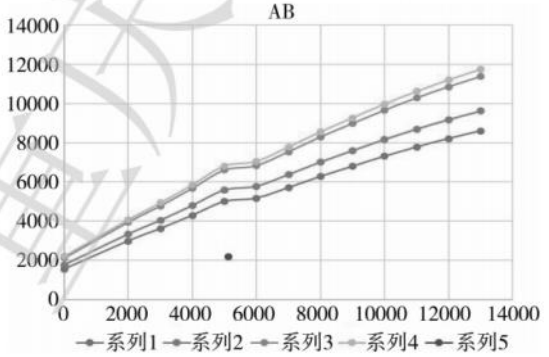


图 B.1-7　AB 接头性能图

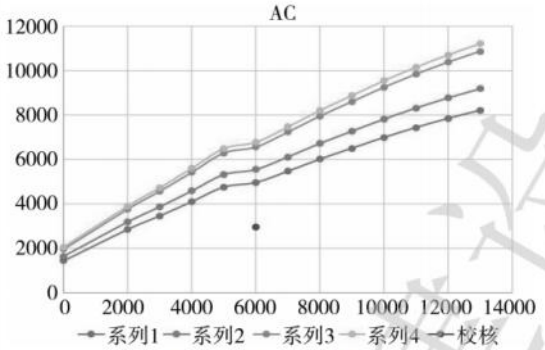


图 B.1-8　AC 接头性能图

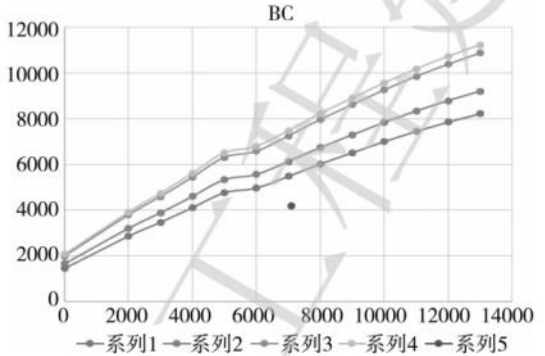


图 B.1-9　BC 接头性能图

从上图可知，计算工况中 AB、AC、BC 接头性能均位于完全线性下方，均能满足要求。

B.2　典型算例 2

1. 工程概况

某隧道为双向八车道小净距明挖隧道，单洞净跨 17.3m，净高 10.2m，最大填土厚度 12m。隧道穿越上软下硬地层（粉质黏土＋泥岩），采用“预制-现浇协同式两铰拱”结构体系（图 B.2-1）。

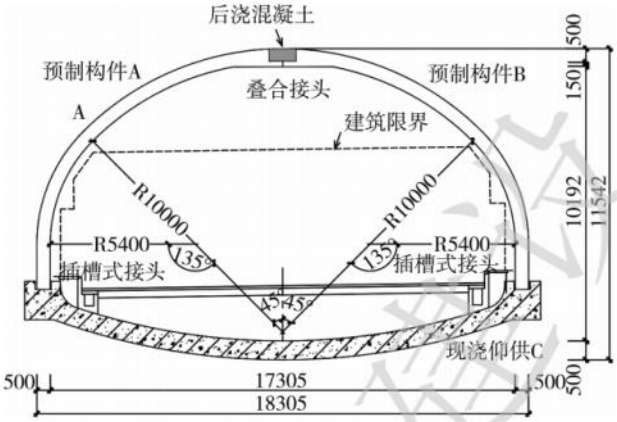
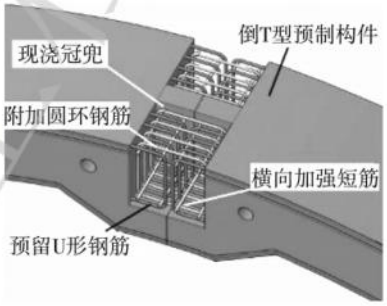
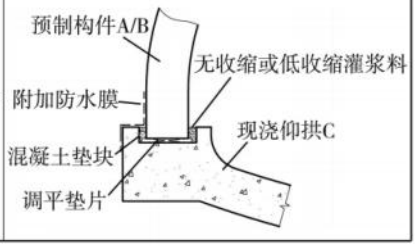


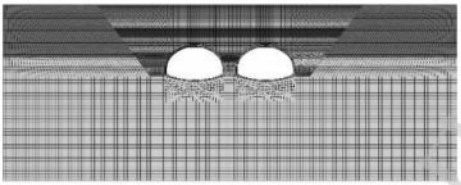
图 B. 2-1 “两铰拱”装配式结构体系(单位：mm)

表 B. 2-1 结构形式及构造参数

构件	材料	厚度	接头类型	示意图
拱部 A、B块	C50 混凝土	0.5m	拱顶增效刚接接头	
仰拱C块	C50 混凝土	0.5m	拱脚插槽式接头	

2. 计算模型与参数

模型尺寸：140m(长)×50m(宽)×2m(环宽)



（a）地层-结构模型

（b）装配式结构模型

图 B. 2-2　三维数值计算模型

单元划分：

地层土体：C3D8R 单元（摩尔-库仑模型）

混凝土结构：C3D8R 单元（C50 混凝土）

钢筋：T3D2 单元（HRB400 双折线强化模型）

表 B. 2-2　材料参数

土层	弹性模量/(MPa)	泊松比	密度/(kg/m^3)	内摩擦角/(°)	粘聚力/(kPa)
回填土	12.6	0.4	2100	22	100
泥岩	783.3	0.34	2480	28.91	299
钢筋	200000	0.3	7850	—	—
C50 混凝土	34500	0.25	2550	—	—

回填土附加应力（夯实荷载）：

（其中：为静止土压力系数；为土体容重；为激活土层的厚度）。

接触属性：

土-结构摩擦系数：0.6

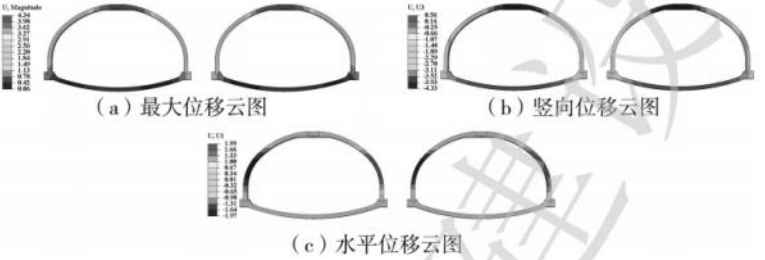
预制构件间摩擦系数：0.1

新旧混凝土叠合面：法向刚度 1.0×105MPa/mm，切向刚度

14.88MPa/mm

3.计算结果分析

位移响应：



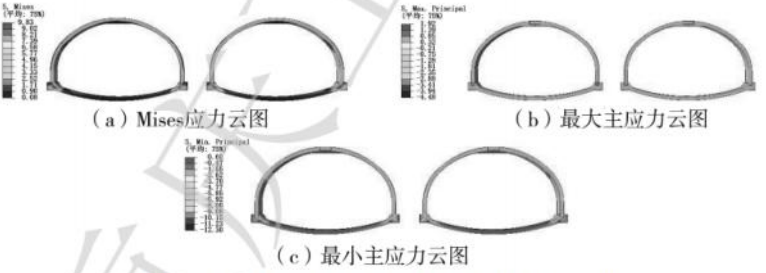
（a）最大位移云图　（b）竖向位移云图

（c）水平位移云图

图 B.2-3　装配式增效刚接接头结构位移云图

位移类型	最大值(mm)	规范限值(mm)
拱顶沉降	4.33	≤10
仰拱隆起	0.56	≤5
水平扩张	3.96	≤8

应力分布：



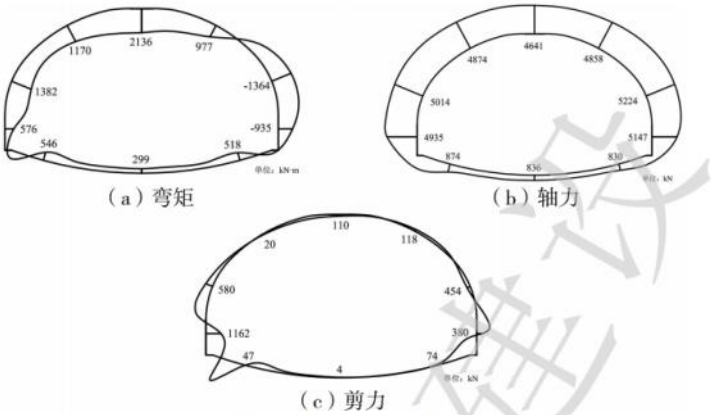
（a）Mises应力云图　（b）最大主应力云图

（c）最小主应力云图

图 B.2-4　装配式增效刚接接头结构应力云图

应力类型	最大值(MPa)	位置	规范限值(MPa)
拉应力	1.92	拱顶下缘	C50 抗拉强度标准值 2.64
压应力	12.3	拱腰内侧	C50 抗压强度标准值 32.4

内力分布：



（a）弯矩　（b）轴力　（c）剪力

图 B. 2-5　装配式增效刚接接头结构内力分布

内力类型	峰值	位置
弯矩	2136 kN·m	拱顶正弯矩
轴力	5224 kN	右侧拱腰
剪力	1162 kN	边墙

拱顶增效刚接接头安全系数：

极端工况（覆土 12m）最小安全系数：5.2，仍满足规范要求（≥2.0）。

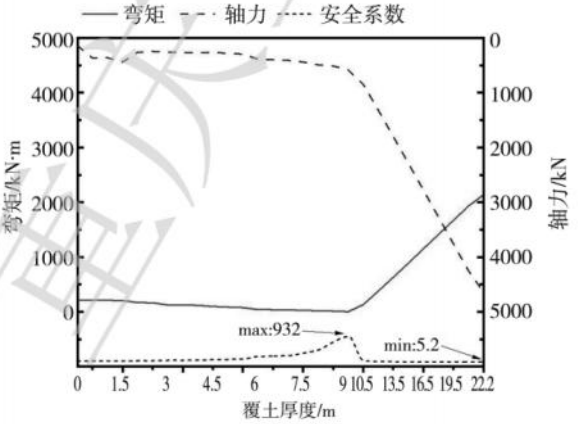


图 B. 2-6　拱顶增效刚接接头跨中截面力学参数随覆土厚度变化曲线

4.结论

结构可行性：

新型接头(拱顶增效刚接＋拱脚铰接)在12m填土荷载下变形可控(最大沉降4.33mm)，应力满足规范要求。

增效刚接接头配筋(ϕ32@120)有效控制裂缝宽度(≤0.2mm)。

施工建议：

拱脚插槽式接头施工容许偏差±15mm，需严格管控注浆密实度。

分层回填时每层厚度≤1.5m，压实度≥95%。

重庆工程建设

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：
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：
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：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

重庆工程建设

引用标准名录

1 《通用硅酸盐水泥》GB 175
2 《混凝土外加剂》GB 8076
3 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523
4 《建筑结构荷载规范》GB 50009
5 《混凝土结构设计规范》GB 50010
6 《建筑抗震设计规范》GB 50011
7 《钢结构设计标准》GB 50017
8 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068
9 《地下工程防水技术规范》GB 50108
10 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
11 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
12 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
13 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
14 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
15 《混凝土结构通用规范》GB 55008
16 《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030
17 《用于水泥中的粒化高炉矿渣》GB/T 203
18 《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB/T 748
19 《钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1
20 《钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2
21 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
22 《冷轧带肋钢筋》GB/T 13788
23 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
24 《建设用砂》GB/T 14684

25 《高分子防水材料 第3部分:遇水膨胀橡胶》GB/T 18173.3
26 《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065
27 《橡胶密封件给、排水管及污水管道用接口密封圈材料规范》GB/T 21873
28 《水泥基灌浆材料应用技术规范》GB/T 50448
29 《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
30 《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336
31 《公路桥涵设计通用规范》JTG D60
32 《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F 80/1
33 《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》JTG 3370.1
34 《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1
35 《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18
36 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33
37 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46
38 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
39 《混凝土用水标准》JGJ 63
40 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80
41 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
42 《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》JGJ 276
43 《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660
44 《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23
45 《装配式混凝土构件外墙防水工程技术标准》DBJ50/T-456-2023
46 《装配式建筑部品部件标准》DBJ50/T-459-2023
47 《装配式建筑施工现场安全技术标准》DBJ50/T-458-2023

重庆市工程建设标准

明挖装配式拱形隧道结构技术标准

DBJ50/T-538-2025

条文说明

重庆工程建设

2025 重 庆

重庆工程建设

目　次

4　材料 …… 95
4.3　接缝及防水材料 …… 95
5　设计 …… 96
5.1　一般规定 …… 96
5.2　结构设计 …… 97
7　现场施工 …… 106
7.3　构件拼装 …… 106

重庆工程建设

重庆工程建设

4 材 料

4.3 接缝及防水材料

4.3.5 灌浆料应具有高强、早强、无收缩和微膨胀等基本特性，以使其能与套筒、被连接钢筋更有效的结合在一起共同工作，同时满足拼装式结构快速施工的要求。

重庆工程建设

5 隧道设计

5.1 一般规定

5.1.1 结构形式选型、断面分割、接头设计参考如下：

1 结构形式选型依据：

1） 全预制结构：需满足运输、吊装条件（单块构件自重≤60t），适用于工期紧张、标准化程度高的市政隧道；

2） 仰拱现浇＋上部预制：可适应重庆地区复杂地质（如膨胀土、岩溶发育区），通过现浇仰拱提高基底适应性。

2 断面分割方案参考依据：

1） 以2分块为主，重庆市新森大道装配式隧道采用2分块，其结构应力、位移及接头张开角均满足规范要求；

2） 纵向环宽2～3m可平衡运输效率与结构整体性（依据JGJ 1-2014《装配式混凝土结构技术规程》）。

3 接头设计：

1） 榫槽式接头抗剪性能优于平面式，PC钢棒连接孔周围应配置环形加强筋（直径≥12mm，间距≤100mm），避免应力集中；

2） 现浇接头配筋率不应低于1.2%，并应与预制构件预留钢筋可靠连接（机械连接或焊接）。

5.1.2 明挖装配式隧道纵向节段的长度应根据下列因素综合确定：

1 施工可行性：包括节段搬运条件（运输道路限界、设备起吊能力）、拼装精度要求、曲线段拟合误差控制；

2 结构性能：接缝数量对整体刚度的影响、接头防水可靠性、纵向连接刚度匹配性；

3　经济性：节段制作成本、运输能耗、现场拼装效率；

4　环境适应性：地基承载力差异、边坡稳定性、地下水位波动对节段长度的影响；

5　特殊工况：地震作用下的节段协同变形能力、温度变化引起的接缝伸缩量控制。

注：节段长度宜通过数值模拟验证，并满足《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666)对预制构件运输与安装的要求。

5.2　结构设计

5.2.1　荷载

基于重庆交通大学桥梁与隧道工程国家重点实验室开展大量的增效刚接接头足尺试验，深入研究了增效刚接接头压弯荷载作用下承载性能。依据构件试验参数及加载条件，采用非线性分析截面分析软件绘制了同型现浇构件的 PM 屈服承载力曲线与极限承载力曲线如图 5.2.1.9-1 所示。

按照现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010)(后文简称《混规》)，使用式(5.2.1.9-1)～式(5.2.1.9-4)计算偏心受压构件正截面受压承载力时，屈服承载力的计算采用混凝土的轴心抗压强度和钢筋的屈服强度标准值；而计算极限承载力时，使用混凝土的立方体抗压强度和钢筋的极限强度标准值。

$$N=\alpha_1 f_c bx+f'_y A'_s-\sigma_s A_s \qquad (式\ 5.2.1.9\text{-}1)$$

$$Ne=\alpha_1 f_c bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)+f'_y A'_s(h_0-a'_s) \qquad (式\ 5.2.1.9\text{-}2)$$

$$e=e_i+\frac{h}{2}-a \qquad (式\ 5.2.1.9\text{-}3)$$

$$e_i=e_0+e_a \qquad (式\ 5.2.1.9\text{-}4)$$

式中：其余参数含义详见《混规》，规范法承载力计算值如表 5.2.1.9-1 所示，计算时忽略了施工偏差等因素导致的附加偏心矩，计算结果偏保守，更有利于结构安全。将规范公式计算值附

在图 5.2.1.9-1 中。

表 5.2.1.9-1　规范法承载力计算值统计表

承载力	混凝土强度/MPa	钢筋强度/MPa	e_a mm	$M=Ne_0$/kN·m	
				N=1000kN	N=1600kN
屈服	32.8	464	0	377.6	468.1
极限	50.6	610	0	443.1	554.6

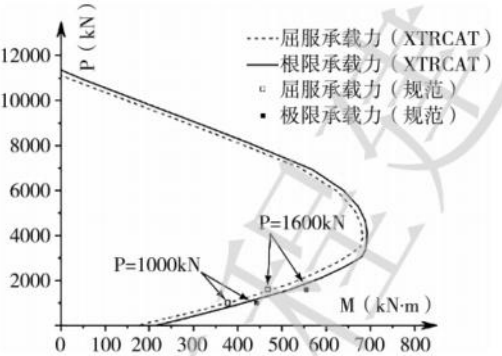


图 5.2.1.9-1　同型现浇构件 PM 曲线图

构件承载力试验值、计算值如表 5.2.1.9-2 所示。试验屈服承载力与计算屈服承载力的最小比值为 1.25，试验极限承载力与计算极限承载力的最小比值为 1.40。经过验证，本文提出的新型增效刚接接头承载力可以达到现浇结构承载力的 125%以上。究其原因，一方面在于增效刚接接头截面加高，即增加了叠合板的高度，在轴力作用下抵抗了一部分弯矩；另一方面也跟接头采用附加环形钢筋连接，且设置了横向加强短筋，在增加接头配筋量的同时，形成了核心混凝土受力区域。

表 5.2.1.9-2　增效刚接接头承载力试验与理论计算值对比表(单位:kN·m)

承载力	试验值/M_1	规范法/M_2	XTRACT/M_3	$\min\left\{\frac{M_1}{M_2},\frac{M_1}{M_3}\right\}$
屈服	599.8	468.1	479.5	1.25
极限	779.0	554.6	519.8	1.40

综上所述，当增效刚接式接头处的受力钢筋采用安全可靠的连接方式，且接缝处新旧混凝土之间采用粗糙面、键槽等构造措施时，结构的整体性能与现浇结构类同，设计中可采用与现浇结构相同的方法进行结构分析，并根据本标准的相关规定对计算结果进行适当的调整。

根据外部附加张力装置在受拉侧的注浆式双榫接头室内足尺试验，通过对接头在不同轴力工况下的 M－θ 关系曲线分析，采用对数函数 $M=A\ln(\theta)+B$ 对曲线进行拟合，得到 $k_\theta=A\cdot e^{\frac{B-M}{A}}$，同时进行系数 A 和 B 参数拟合分析，分析轴力与 A、B 参数的函数关系，得出特定接头型式下抗弯刚度经验公式。在具体工程结构分析过程中，应根据实际设计参数予以调整。

5.2.3 结构计算

1 增效刚接接头和整体结构受力计算

1） 按偏心受压构件进行正截面受压承载力校核

第一阶段，后浇混凝土未达到强度设计值之前，按三铰拱结构计算。其中，弯矩设计值按下列公式取用：

$$M_1=M_{1G}+M_{1Q} \qquad \text{（式 5.2.3.1-1）}$$

第二阶段，后浇混凝土达到设计规定的强度值之后，按两铰拱结构计算，其正截面受压承载力按偏心受压构件进行校核。其中，弯矩设计值考虑以下两种情况并取较大值：

a. 当填土表面低于拱顶时，水平土压力占主导，导致拱顶向上移动，拱顶增效刚接接头受负弯矩：

$$M_2=M_{2G}+M_{2Q} \qquad \text{（式 5.2.3.1-2）}$$

b. 当填土表面高于拱顶时，竖向土压力占主导，拱顶逐渐向下位移，拱顶增效刚接接头受正弯矩：

$$M_2=M_{1G}+M_{2G}+M_{3Q} \qquad \text{（式 5.2.3.1-3）}$$

式中：M_{1G} ——预制构件自重、后浇混凝土自重在计

算截面产生的弯矩设计值；

M_{2G}——第二阶段回填土压力在计算截面产生的弯矩设计值；

M_{1Q}——第一阶段施工活荷载在计算截面产生的弯矩设计值；

M_{2Q}——第二阶段施工活荷载在计算截面产生的弯矩设计值，此时，回填侧边墙土体，施工活荷载主要为碾压夯实回填土时，回填土塑形变形对结构产生挤压变形，以水平方向为主；

M_{3Q}——第二阶段可变荷载在计算截面产生的弯矩设计值，此时，回填拱顶以上土体及长期使用阶段，取本阶段施工活荷载和使用阶段可变荷载在计算截面产生的弯矩设计值中的较大值。

2） 按偏心受压构件进行斜截面受剪承载力和叠合面、接缝面受剪承载力校核

当填土表面低于拱顶时，剪力设计值一般较小，便不做单独验算。因此，剪力设计值按下列两阶段下列公式取用：

第一阶段，后浇混凝土未达到强度设计值之前：

$$V_1 = V_{1G} + V_{1Q} \qquad \text{（式 5.2.3.1-4）}$$

第二阶段，后浇混凝土达到设计规定的强度值之后：

$$V_2 = V_{1G} + V_{2G} + V_{2Q} \qquad \text{（式 5.2.3.1-5）}$$

式中：V_{1G}——预制构件自重、后浇混凝土自重在计算截面产生的剪力设计值；

V_{2G}——第二阶段回填土压力在计算截面产生的剪力设计值；

V_{1Q}——第一阶段施工活荷载在计算截面产生的剪力设计值；

V_{2Q}——第二阶段可变荷载产生的剪力设计值，取本阶段施工活荷载和使用阶段可变荷载在计算截面产生的剪力设计值中的较大值。

4 本条文对结构计算简图的确定原则作出了规定。计算分析应模拟结构的实际受载过程，尤其是受力体系发生较大变化的工况，需按施工顺序及结构受力的连续性进行全过程分析，以准确反映结构的实际工作状态。

9 按增效刚接接头、全预制接头分类计算方法如下：

表 5.2.3.9 接头计算

接头类型	结构分析方法
单环间的接头	增效刚接式接头：等同现浇法；
	全预制接头（如榫槽注浆式接头）：修正惯用法或刚度迭代法。
环与环之间接头	不考虑环接头的转动刚度（即 k_θ 固定为零），拉压和剪切的刚度值根据经验选取：$K_n=100000\text{kN/m}$；$K_s=70000\text{kN/m}$。

等同现浇法：采用增效刚接接头的结构可采用与现浇混凝土结构相同的方法进行结构分析，地震设计状况下宜对现浇抗侧力在地震作用下的弯矩和剪力进行适当放大。

为了使装配式接头的力学性能与整体现浇结构基本等同，设计中应采用可靠的连接技术和必要的构造措施，满足以下关键要求：

1） 穿过接缝的钢筋不少于构件内钢筋

一般情况下，构件受力筋主要由纵向钢筋与箍筋组成。纵向受力钢筋面积不应小于原构件相应钢筋的面积。此外，箍筋直径不应小于构件内相应箍筋的直径，箍筋间距应与构件内相同。

2） 穿过接缝的钢筋有可靠锚固

为了确保钢筋在接缝区域的可靠锚固，采用 U 形钢筋搭接连接。欧洲规范针对 U 形钢筋搭接连接提出了

相应的构造要求，如环形钢筋交叠长度 l_0、环筋交叠最小搭接长度 $l_{0,\min}$、横向钢筋的总面积 A_{st} 应符合5.2.4.12、5.2.4.13 的相关规定。

3）后浇混凝土强度等级不低于预制构件混凝土强度等级；在接缝部位二次浇筑混凝土时，混凝土的强度等级不应低于 C50 和预制构件的强度，并掺入适量膨胀剂。具体可根据设计要求选择更高强度的混凝土，或者采用活性粉末混凝土，其具有很好的致密性，可对钢筋形成很好的握裹作用，大幅减少钢筋需要的锚固长度。

4）后浇混凝土正截面有效尺寸不小于现浇构件；

后浇混凝土横截面由于受到倒 T 形腹板的影响，横截面宽度减小，为了确保新型增效刚接接头整体弯曲刚度 EI 不小于现浇构件，后浇混凝土截面高度 h_1 势必需要增加。考虑到后浇混凝土强度等级不低于预制构件混凝土强度等级，即 E 值是相近的，因此忽略 E 值得影响，可以通过下式计算出后浇混凝土最小高度：

$$h_1 \geqslant h_2 \sqrt[3]{\frac{b_2}{2b_1}} \qquad \text{（式 5.2.3.9-1）}$$

式中：h_1——后浇混凝土截面高度；

h_2——现浇结构截面高度；

b_1——后浇混凝土截面单侧宽度；

b_2——现浇结构截面宽度。

5）预制混凝土构件与后浇混凝土连接面的粗糙面和键槽构造设计

为了确保新旧混凝土结合面的粘结性能和抗剪性能，预制构件与后浇混凝土叠合层之间的结合面应设置粗糙面。其中，增效刚接接头预制端面还应设置键槽，通过与现浇混凝土的咬合作用进一步提高抗剪能力，键槽构造要求满足 5.2.4.3 条相关规定。

修正惯用法：结构按均质圆环考虑，考虑接头对结构刚度的影响，管环整体结构刚度取为(1-η)EI，η 为刚度折减系数，通常 η=0.2～0.3，同时考虑错缝拼装管片接头部位弯矩的传递效应，对管片弯矩进行重分配(图 5.2.3.9-1)。

接头处内力：

$$M_f=(1-\xi)M \qquad N_f=N \qquad \text{(式 5.2.3.9-2)}$$

构件本体：

$$M_g=(1+\xi)M \qquad N_g=N \qquad \text{(式 5.2.3.9-3)}$$

式中：ξ ——弯矩调整系数，通常取 0.2～0.3；

M、N ——分配前按均质圆环计算弯矩及轴力；

M_f、N_f ——分配后接头弯矩和轴力；

M_g、N_g ——分配后管片本体弯矩和轴力。

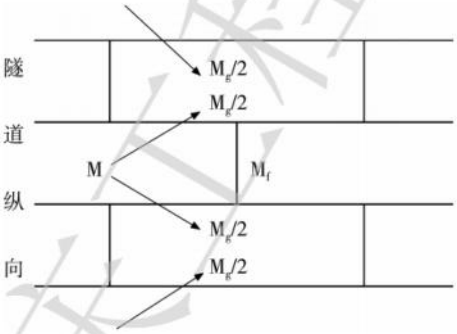


图 5.2.3.9-1　弯矩传递及分配示意图

刚度迭代法：将每一个接头刚度和内力视为未知数组合(k_i，M_i，N_i)，计算模型可视为接头内力关于接头刚度的函数(M_i，N_i)=$f(k_i)$，而根据接头抗弯性能分析所得的抗弯刚度与接头内力关系式或三维曲面可视为接头抗弯刚度关于接头内力的函数 $k_i=g(M_i, N_i)$；当接头个数为 x 时，模型中未知数个数为 $3x$，而方程数为 $2x$，因此将接头抗弯刚度作为变量进行迭代分析，其迭代计算过程如图 5.2.3.9-2 所示，其要点如下：

1）定义整环计算模型中 x 个接头单元的初始抗弯刚度为 $k_{\theta 1}$，代入计算模型进行求解，提取 x 个接缝处的隧道衬砌的结构内力（弯矩 M_1、轴力 N_1）；

2）将结构内力弯矩 M_1、轴力 N_1 代入接头抗弯刚度的三维曲面关系，利用加权内插法求解接头抗弯刚度 $k_{\theta 2}$；

3）将 x 个接头抗弯刚度 $k_{\theta 2}$ 重新代入模型进行计算，求解结构内力，以此循环；

4）比较第 i 步计算的 $k_{\theta i}$ 和第 $i+1$ 步计算的 $k_{\theta i}+1$，如果 2 次计算的接头刚度无限逼近，则退出循环，此时的接头刚度即为结构所受外力作用下的真实抗弯刚度，以此刚度计算所得的结构内力也是准确的。

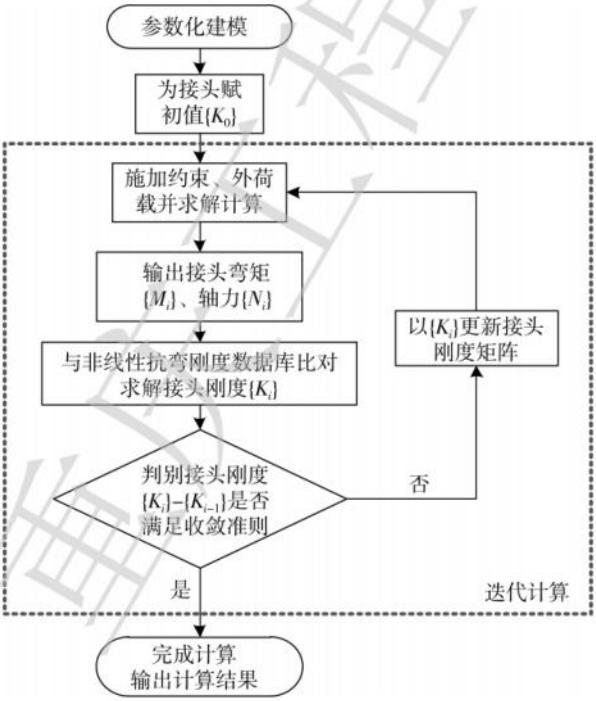


图 5.2.3.9-2　基于接头刚度的管片结构迭代算法流程图

在不同轴力工况下，外部附加张力装置在拉侧的注浆式双榫接头抗弯刚度经验公式：

$$k_\theta = A \cdot e^{\frac{B-M}{A}}, \begin{pmatrix} A = 0.1271 \cdot N + 64.117 \\ B = 1.1711 \cdot N + 800 \end{pmatrix}$$

（式 5.2.3.9-4）

式中：k_θ ——接头抗弯刚度；

A、B ——与轴力相关系数；

M、N ——接头弯矩和轴力。

重庆工程建设

7 现场施工

7.3 构件拼装

7.3.12 本条规定了预制构件预应力张拉的关键技术要求。目前，采用预应力钢棒进行张拉锁紧是装配式隧道衬砌结构实现环向与纵向预应力的一种有效方式。其核心作用是主动施加压应力，以保障接缝防水性能并控制结构变形。

1 预应力张拉需克服的主要阻力之一，是布置于接头拼接面上的弹性橡胶密封垫的初始反力。因此，构件上的张拉点布置必须与密封垫的几何布置和压力传递路径相适应，其根本目的是确保由各张拉点所形成的压紧荷载能够均匀、有效地作用于接缝面，从而对拼装缝宽实施精确控制，保证接缝的密封效果。

2 设备的能力必须满足设计张拉力的要求。为减少不同步张拉引起的构件内应力不均等问题，推荐选用具备智能同步控制功能的张拉系统，以保证多个张拉点协同工作，提高施工质量。

3 张拉设备及配套仪表（如压力传感器、油压表）是控制张拉精度的关键，必须定期进行检定或校准，以保证张拉力的准确施加。