

JTG

中华人民共和国行业标准

JTG/T XXXX-XXXX

公路隧道改扩建技术规范

Technical Specifications for Reconstruction and Extension of Highway Tunnel

(征求意见稿)

20XX-xx-xx 发布

20XX-xx-xx 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业推荐性标准

公路隧道改扩建技术规范

Technical Specifications for Reconstruction and Extension of Highway Tunnel

JTG/T XXXX-XXXX

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

实施日期：202X 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据《交通运输部关于下达2020年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（交公路函〔2020〕471号）的要求，由中交第一公路勘察设计研究院有限公司作为主编单位承担《公路隧道改扩建技术规范》（JTG/T ×-×—××）（以下简称“本规范”）的制订工作。

本规范总结了我国公路隧道改扩建设计、施工、科研成果和经验，充分借鉴了国内外相关标准及成熟技术，广泛征求并吸收了勘察、设计、施工、科研院校、建设和运营管理等有关单位专家的意见和建议。

本规范包括 14 章和 9 个附录等内容，分别是：1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 隧道调查与评价、5 总体设计、6 荷载与结构计算、7 衬砌结构设计、8 其他工程改扩建设计、9 施工准备、10 改建隧道施工、11 扩建隧道施工、12 增建隧道施工、13 监控量测及预报、14 交通组织与保通设计，附录 A 隧道典型改扩建方式、附录 B 既有隧道技术状况检测及评定记录表、附录 C 浅埋条件下扩挖建隧道围岩压力计算方法、附录 D 浅埋条件下扩挖连拱隧道围岩压力计算方法、附录 E 偏压条件下扩挖连拱隧道围岩压力计算方法、附录 F 增建深埋小净距隧道围岩压力计算方法、附录 G 增建浅埋小净距隧道围岩压力计算方法、附录 H 偏压条件下增加小净距围岩压力计算方法、附录 I 既有隧道拆除方法。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：XXX（地址：西安市科技二路 63 号，邮编 710075；电话：029-8322888，电子邮箱：XXX），以便修订时参考。

主 编 单 位： 中交第一公路勘察设计研究院有限公司

参 编 单 位：

主 编： 韩常领

主要参编人员：

主 审： 程崇国

参与审查人员：

参 加 人 员：

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.....	- 6 -
4	隧道调查与评价.....	- 8 -
4.1	一般规定	- 8 -
4.2	工程资料与交通组织调查	- 8 -
4.3	地质勘察	- 9 -
4.4	既有隧道技术状况调查	- 11 -
5	总体设计.....	- 12 -
5.1	一般规定	- 12 -
5.2	改扩建设计方案选择	- 12 -
5.3	隧道位置选择	- 15 -
5.4	隧道线形设计	- 15 -
5.5	隧道横断面	- 15 -
5.6	横通道与紧急停车带	- 16 -
5.7	施工计划	- 16 -
6	荷载与结构计算.....	- 18 -
6.1	一般规定	- 18 -
6.2	扩挖大断面隧道荷载计算	- 18 -
6.3	扩挖连拱隧道荷载计算	- 19 -
6.4	扩挖小净距隧道荷载计算	- 20 -
6.5	增建小净距隧道荷载计算	- 21 -
6.6	扩挖隧道衬砌结构计算	- 22 -
6.7	既有隧道结构计算	- 24 -
7	衬砌结构设计.....	- 27 -

7.1 一般规定	- 27 -
7.2 增建隧道衬砌结构	- 27 -
7.3 扩挖单洞隧道衬砌结构	- 29 -
7.4 扩挖连拱隧道衬砌结构	- 31 -
7.5 横通道设计	- 32 -
7.6 既有隧道加固设计	- 32 -
8 其他工程改扩建设计	- 34 -
8.1 一般规定	- 34 -
8.2 洞门及洞口	- 34 -
8.3 防排水系统	- 34 -
8.4 通风土建工程	- 35 -
8.5 泄水洞	- 36 -
8.6 路面	- 36 -
8.7 电缆沟槽、检修道	- 36 -
9 施工准备	- 37 -
9.1 一般规定	- 37 -
9.2 施工场地与临时工程	- 38 -
9.3 人员、材料及设备	- 38 -
9.4 工法选择	- 38 -
9.5 既有加固施工	- 39 -
10 改建隧道施工	- 42 -
10.1 一般规定	- 42 -
10.2 既有隧道衬砌拆除	- 42 -
10.3 支护及衬砌	- 43 -
11 扩建隧道施工	- 44 -
11.1 一般规定	- 44 -
11.2 隧道洞口扩挖	- 45 -
11.3 隧道洞身扩挖	- 47 -
11.4 爆破施工	- 51 -

11.5 机械开挖	- 52 -
11.6 既有隧道衬砌拆除施工	- 53 -
11.7 支护及衬砌	- 53 -
12 增建隧道施工	- 55 -
12.1 一般规定	- 55 -
12.2 既有隧道保护	- 55 -
12.3 近接施工要求	- 56 -
12.4 横通道扩挖	- 56 -
13 监控量测及预报	- 57 -
13.1 一般规定	- 57 -
13.2 方法与要求	- 57 -
13.3 信息反馈	- 61 -
14 交通组织与保通设计	- 62 -
14.1 一般规定	- 62 -
14.2 增建隧道交通组织设计	- 62 -
14.3 扩建隧道交通组织设计	- 63 -
14.4 既有隧道交通组织设计	- 63 -
14.5 应急预案及保障措施	- 64 -
附录 A 隧道典型改扩建方式	- 66 -
附录 B 既有隧道技术状况检测及评定记录表	- 68 -
附录 C 浅埋条件下扩挖隧道围岩压力计算方法	- 69 -
附录 D 浅埋条件下扩挖连拱隧道围岩压力计算方法	- 71 -
附录 E 偏压条件下扩挖连拱隧道围岩压力计算方法	- 74 -
附录 F 增建深埋小净距隧道围岩压力计算方法	- 76 -
附录 G 增建浅埋小净距隧道围岩压力计算方法	- 79 -
附录 H 偏压条件下增建小净距隧道围岩压力计算方法	- 81 -
附录 I 既有隧道拆除方法	- 83 -
本规范用词用语说明	- 84 -

1 总则

1.0.1 为规范、指导公路隧道改扩建设计与施工，满足安全可靠、先进成熟、经济适用、环保耐久的要求，特制订本规范。

1.0.2 本规范适用于以钻爆法为主要开挖手段的各级山岭公路隧道改扩建工程的设计与施工。

1.0.3 公路隧道改扩建设计应结合工程特点，遵循“利用与改扩建充分结合、建设与运营相协调”的原则，进行科学论证，提出合理方案。

1.0.4 对于既有隧道工程，应在调查、检查、评价的基础上，结合改扩建的需求，采取加固等措施予以充分利用。

1.0.5 公路隧道改扩建施工应贯彻保护环境，节约用地的原则，严格执行国家和行业的法律法规及相关技术标准，按照设计文件施工，满足质量、安全、工期等建设目标。

1.0.6 公路隧道改扩建工程应遵循国家技术经济政策，积极稳妥地采用新技术、新材料、新工艺。

1.0.7 隧道改扩建工程除应符合本规范要求外，尚应符合国家和行业现行有关标准规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 隧道改扩建 tunnel reconstruction & extension

在既有隧道的基础上,为提高技术等级、通行能力或改善技术指标而进行的隧道建设工程,包括隧道的改建、扩建、增建等。

2.1.2 隧道改建 tunnel reconstruction

对既有隧道的维修、加固和改造的工程行为。

条文说明:以提升道路等级、增强隧道系统稳定性、提高技术指标及行车安全性为目的,对既有隧道进行土建结构、机电及其他设施的增补、升级、改善的建设工程。如对既有隧道进行的衬砌结构加固、路幅调整、路面翻修、排水沟改造、电缆沟改造、增设横洞等工程行为。

2.1.3 隧道扩建 tunnel extension

对既有隧道断面进行扩挖,增大净空断面、提高通行能力的工程行为。

条文说明:为改善交通容量、运输效率,对既有隧道断面进行扩挖,增大净空断面,需拆除既有隧道衬砌重新施工新结构的工程行为。

2.1.4 增建隧道 construction of additional tunnel

分担既有隧道交通流的新建隧道。

条文说明:既有隧道交通量已经饱和,需另辟新线增加车道,或既有隧道技术指标低,改建、扩建难度大,不能满足功能需求,需要在既有隧道旁新建隧道。

2.1.5 既有隧道 existing tunnel

已建成的隧道。

2.1.6 单侧扩建 unilateral expansion excavation

扩挖部分位于既有隧道一侧的扩建方式。

2.1.7 双侧扩建 bilateral expansion excavation

既有隧道与扩挖隧道中线基本重合，在既有隧道两侧扩挖的扩建方式。

2.1.8 周边扩建 peripheral expansion excavation

在既有隧道周边扩挖的扩建方式。

条文说明：既有隧道位于扩挖隧道断面中部，对既有隧道周边进行扩挖的扩建方式。

2.1.9 静态爆破 static state blast

采用膨胀剂、液压劈裂或惰性气体等非火工品对混凝土、围岩进行破碎的爆破技术。

2.2 符号

R_c ——岩石单轴饱和抗压强度；

R_a ——混凝土或砌体的抗压强度；

R_l ——混凝土的抗拉极限强度；

$I_{S(50)}$ ——实测的岩石点荷载强度指数；

K_v ——岩体完整性系数；

γ ——围岩重度；

σ ——弹性抗力的强度；

δ ——衬砌朝向围岩的变形值；

k ——弹性抗力系数；

E ——变形模量；

μ ——泊松比；

ϕ ——计算摩擦角；

H ——隧道建筑限界高度；

K ——围岩弹性抗力系数；

q ——作用在支护结构上的均布荷载；

λ ——侧压力系数；

θ ——滑面的摩擦角；

- q_z ——隧道中隔墙与两侧拱肩所夹三角形荷载最大值；
- H_1 ——连拱隧道中隔墙顶到地面的距离；
- e_1 、 e_2 ——隧道拱顶与底部的水平侧压力；
- B' ——隧道开挖有效宽度；
- h 、 h' ——隧道内、外侧由拱顶水平至地面的高度
- h_i 、 h'_i ——隧道内、外侧任一点 i 至地面的距离
- e_i 、 e'_i ——隧道内、外侧偏压隧道水平侧压力
- λ 、 λ' ——隧道内、外侧的侧压力系数
- h_{q1} ——深埋小净距隧道基本围岩垂直压力的荷载等效高度；
- h_{q2} 、 h'_{q2} ——深埋小净距隧道外侧、内侧附加围岩垂直压力的荷载等效高度；
- i ——开挖宽度每增减 1m 时的围岩压力增减率；
- B_{wp} ——外侧边破裂面在水平方向的投影长度；
- B_{np} ——内侧边破裂面在水平方向的投影长度；
- H_t ——隧道开挖高度；
- H_w ——洞室外侧破裂面与侧边开挖轮廓交点的高度；
- H_n ——洞室内侧破裂面在边墙上起始的高度；
- P_z ——中夹岩柱对上部岩体的支撑力；
- B_t ——单侧隧道的开挖宽度；
- B_m ——小净距隧道单侧洞室可能坍塌的宽度；
- B_{zp} ——中夹岩柱有效承载宽度；
- $e_{1\sim 2}^i$ ——外侧拱部及边墙任意点水平方向围岩压力；
- $e_{3\sim 4}^i$ ——内侧拱部及边墙任意点水平方向围岩压力；
- h_i ——计算点到拱顶的距离；
- β ——侧边产生最大推力时的破裂角；
- $\lambda_{外}$ 、 $\lambda_{内}$ ——小净距隧道外、内侧压力系数；
- q_5 、 q_6 、 q_7 、 q_8 ——增建小净距隧道左洞左侧、左洞右侧、右洞左侧、右洞右侧垂直压力；
- λ_5 、 λ_6 、 λ_7 、 λ_8 ——增建小净距隧道左洞左侧、左洞右侧、右洞左侧、右洞右侧土压力系数；

β_5 、 β_6 、 β_7 、 β_8 ——增建小净距隧道左洞左侧、左洞右侧、右洞左侧、右洞右侧
破裂面与水平面夹角；

α —地面横坡倾斜角度。

征求意见稿

3 基本规定

3.0.1 隧道改扩建设计应结合路线总体设计、隧道接线条件、工程地质、既有隧道现状、交通组织、建设条件等综合比较，合理确定改扩建形式和技术标准。

3.0.2 扩建、增建隧道应采用新建公路的有关标准。改建隧道宜采用新建公路的有关标准，当既有隧道改建工程较大或改建条件困难时，隧道主体结构可维持原技术标准，机电附属设施应采用新标准。

3.0.3 应根据技术标准、交通需求，结合后地形、地质、线路条件、运营情况、既有隧道现状等，对利用既有隧道改扩建、另建新线进行技术经济比较，确定隧道改扩建方案。

3.0.4 隧道改扩建应根据设计要求收集有关资料，进行详细的调查、检查，评价隧道的技术状况和运营情况，必要时还应对既有隧道作进一步补充勘察。

3.0.5 隧道改扩建应合理利用线路走廊资源，节约用地，充分利用原有工程，降低工程造价。

3.0.6 隧道主体结构应按永久性结构设计，具有规定的强度、稳定性和耐久性；改扩建后的隧道应能适应长期持续正常运营的需要，方便维修作业。直接利用的既有隧道结构其各项指标应满足设计要求。

3.0.7 应对既有隧道技术状况与运营安全状况进行调查、评价，确定既有隧道的直接利用、维修加固或扩建、重建方案。

3.0.8 改扩建方案应有利于交通组织，减少对既有隧道交通的影响。

3.0.9 改扩建隧道施工应按照尽量减小对岩体的扰动的原则确定施工方案，降低对运营的干扰。

3.0.10 隧道改扩建施工应根据地质复杂程度和隧道特点开展施工风险评估，制定风险规避措施和安全应急救援预案。

3.0.11 增建隧道施工应保证既有隧道和相邻结构物安全，并采取必要的监测和防护措施。

3.0.12 应考虑施工及运营安全、区域交通影响等因素，结合改扩建方案进行交通组织设计。维持通车的施工路段，其服务水平可较正常路段降低一级。

3.0.13 隧道改扩建施工过程应进行跟踪、检验、监测，根据需要动态调整设计与施工方案。

征求意见稿

4 隧道调查与评价

4.1 一般规定

4.1.1 针对改扩建隧道特点和规模,确定搜集调查资料的内容和范围,制定调查计划。调查资料应齐全、准确,满足改扩建设计与施工要求。

条文说明:调查资料是改扩建隧道位置选择、工程布置、结构设计、施工方法以及计划工期、工程投资等整个设计工作的依据,因此,调查资料应齐全、准确。

4.1.2 调查应分施工前调查和施工中调查两个阶段。施工前调查的内容、范围、精度等应符合相应设计阶段的要求;施工中调查应及时进行,核实和预测施工中遇到的地质问题。

条文说明:调查工作应分阶段进行。施工前阶段包括工程可行性踏勘、初步勘测和详细勘测三个阶段。施工中的调查应贯穿施工开挖的全过程,包括地质描述、超前探测等预测工作,也包括对既有隧道地质资料的核实工作。

4.1.3 改扩建隧道地质勘察应充分利用既有隧道的勘察成果以及施工揭示地质条件,根据需要进行补充勘察。

条文说明:既有隧道已经具有完整的施工前调查资料、施工中调查资料,所以改扩建隧道的地质勘察工作要充分利用既有资料,对确需补充勘察的,增加相应勘察工作。

4.1.4 改扩建隧道的地质勘察应结合既有隧道勘察成果,开展地质勘察核查或补充勘察。

条文说明:既有隧道已经具有完整的施工前调查资料、施工中调查资料,所以改扩建隧道的地质勘察工作要充分利用既有资料,对确需补充勘察的,增加相应勘察工作。

4.1.5 应根据改扩建隧道类型、方案进行不同侧重点的既有隧道检测。

4.2 工程资料与交通组织调查

4.2.1 施工前调查应包括既有隧道设计、施工、运营等阶段资料，并按设计阶段要求确定调查内容。

4.2.2 既有隧道设计、施工阶段的资料收集与调查，主要包括隧道勘察设计资料、施工缺陷和事故、结构检测等。

4.2.3 既有隧道运营阶段资料收集，主要包括隧道运营单位的相关养护记录、维修、加固记录、事故报告等。

4.2.4 施工调查主要为建筑材料来源、围岩与地下水状态、隧道病害揭露情况、周边环境等。

4.2.5 工程环境调查应包括以下内容：

- 1 既有隧道附近的水系、矿产资源、植被分布等自然环境状况。
- 2 对场区内土地使用情况、农田、水利设施、建筑物、地下管线、路网等调查，若有公园、文物、重要建（构）筑物等需要保护的地物时，还应考虑其保护标准，并提出隧道扩建对其影响的保护措施。
- 3 调查生产生活用水、交通状况、施工和营运噪声、振动、污水和废气排放等对生态的影响，对环境敏感点应提出相应的保护措施。

4.2.6 施工条件调查主要为施工便道、场地、拆迁、用水、供电、建筑材料、保通条件等。

4.2.7 交通组织调查主要为影响区城镇分布、产业、人口等以及可供分流的公路网结构、技术状况、交通特性、对分流有影响的构造物分布等情况，应分析预测施工路段和区域路网的交通量，提出路网分流的可行路径。

4.3 地质勘察

4.3.1 改扩建隧道地质勘察应针对不同设计阶段的任务和公路等级、隧道地质特点，确定地质调查、测绘、勘探范围和试验类型等。

条文说明：隧道不同阶段调查有不同的目标。各阶段调查的内容基本一致，调查范围是从可行性研究阶段的较大范围到详细勘测阶段对隧道有影响的沿线周边，调查深度是从可行性研究阶段以地面踏勘调查为主所获得的深度，到详细

勘测阶段采用必要的勘测、勘探手段和岩土物理力学试验获得的满足设计、施工和概、预算要求的深度。

4.3.2 既有隧道施工导致地形地貌发生变化，需对改扩建隧道进行测绘，应按设计阶段的要求，搜集或测绘地形图、纵断面图、横断面图等。

4.3.3 原位扩建、增建隧道，应利用既有隧道勘察设计、施工资料，细致分析隧址区地质条件，并有针对性布置适当的地质勘察工作量进行核查。

条文说明：原位扩建隧道或在既有隧道附近新增隧道，在利用既有隧道勘察设计资料、施工资料的同时，对既有隧道施工过程中与设计不一致段落应进行核查工作。这些是既有隧道施工前调查未查清的段落，既有隧道在施工中可能存在地质不均匀，变化复杂等情况，应补充工作将其核查清楚，确保改扩建隧道基础资料的精准。

4.3.4 改扩建隧道勘察时应加强对既有隧道病害情况的调查。对于地质复杂隧道可开展相应补充地勘工作，病害严重难以整治时可考虑新建或拆除重建。

条文说明：扩建隧道利用既有隧道勘察设计资料、施工资料时，应对既有隧道运营期病害情况进行调查、分析，通过既有隧道病害调查，评价隧道健康状况，为改扩建设计过程中既有隧道处治策略制定提供基础资料。当病害情况严重或者该段地质条件复杂时，应采取措施查明地质情况，对病害情况进行综合分析，当既有隧道病害处治难度较大、代价较高的时候，可结合改扩建方案，统筹考虑，对既有隧道进行拆除重建。

4.3.5 既有隧道扩建勘察时应收集原勘察资料、施工记录、竣工资料、年度监测、病害检测等资料，对隧道地质情况进行深入分析，对既有隧道发生塌方、突涌水、衬砌空洞等病害位置进行有针对性的勘察工作，为隧道扩建方案选择提供依据。

条文说明：既有隧道施工中发生过风险事故、存在缺陷的段落，在改扩建隧道施工时存在安全隐患，应对这些段落进行补充勘察工作，查明既有隧道施工后的地质情况，为改扩建隧道设计提供基础资料，在设计中采取针对性的措施，确保改扩建隧道施工安全。

4.3.6 增建隧道应根据与既有隧道的相对关系、地质情况,可在既有隧道内部进行水平方向的物探,必要时考虑水平钻探验证,但应做好既有隧道防水修复方案。

条文说明:利用既有隧道对改扩建隧道进行物探,对局部地质异常段落,需采用钻孔验证,钻孔会破坏既有隧道的防水系统,可能引起既有隧道渗漏水病害。钻孔验证前应做好既有隧道的防水系统修复方案。修复方案可参考《公路隧道加固技术规范》(JTG/T 5540)中相关内容。

4.3.7 岩溶地区增建隧道时,应结合原隧道勘察、施工资料,可考虑沿既有隧道内两侧边墙、拱腰等位置布置适当的物探工作量,判断隧道两侧岩溶发育情况及岩体厚度,为隧道改扩建方式制定提供依据。

条文说明:岩溶隧道经常发生突水涌泥事故,造成人员伤亡事故,主要是受岩溶发育情况影响。改扩建隧道可利用既有隧道开展物探工作,查明隧道沿线岩溶发育情况,为改扩建隧道设计提供岩溶发育情况基础资料,在设计中采取针对性的措施,确保改扩建隧道施工安全。

4.4 既有隧道技术状况调查

4.4.1 应调查既有隧道结构形式、使用状态、病害情况、机电及交通工程设施运行情况、交通事故发生情况和适应性等。

4.4.2 应检测隧道结构厚度和强度、衬砌背后空洞、衬砌开裂情况、隧底状况、施工发生过塌方段落、耐久性相关参数、路面抗滑性能等,应测试机电及交通工程设施效能。

4.4.3 应结合竣工、养护、检测、检测资料对既有隧道结构承载能力和结构安全性进行评价,应分析评价增加隧道或扩挖隧道对邻近既有隧道安全性的影响。

4.4.4 应对既有隧道运营安全性进行评价,分析施工原因,提出隧道及相关设施的改进建议。

5 总体设计

5.1 一般规定

5.1.1 改扩建隧道设计时应结合建设标准、路线总体设计、改扩建难易程度、道路保通等条件对另辟新线新建、分离增建、原位扩建及加固升级等多方案比选。

5.1.2 增建和扩建隧道的线形及横断面设计应满足现行《公路工程技术标准》（JTG B01）和《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）的相关规定。

5.1.3 隧道增建、改建时，宜对既有隧道进行土建结构病害处治和机电设施改造升级。

5.1.4 改建后，隧道设计行车速度与隧道前后路段设计行车速度差不应大于20km/h。

条文说明：本条参照《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG3370.1-2018）第17.4.2条第3款规定。

5.1.5 增建隧道应根据既有隧道运营要求、结构现状、地质条件等因素，结合增建隧道工法及施工水平综合考虑隧道间距，并核查对既有隧道安全性的影响。

5.1.6 隧道改扩建工程技术方案应与施工期交通组织方案相互协调，降低施工对运营的影响。

5.1.7 隧道改扩建工程应根据工程实际进行必要的设计风险评估。

5.1.8 既有隧道的机电工程升级改造应在满足现行标准要求基础上一次设计，根据佳通量增长分期实施。

5.2 改扩建设计方案选择

5.2.1 隧道改扩建方案选择应符合下列规定：

1 当既有道路交通量饱和，需要增加车道，或提高公路等级和标准时，可考虑另辟新线增建隧道，或利用既有隧道线位进行改建、扩建或增建。

2 对于道路等级低、线形标准差、病害严重或事故率高的隧道，应综合比较，

优先采用重建新线方案。

3 在既有隧道基础上,为提升道路等级、增强隧道稳定性及行车安全性对隧道结构、机电系统等设施进行补强、升级,可采用改建方案。

条文说明:当既有道路交通量饱和,需要增加车道提升服务水平时,对于山区公路隧道,一般具备条件另辟新线增建隧道,可避免改扩建时对既有隧道交通的影响问题。城市周边、市区的公路隧道,受规划、城镇现状、征拆等因素制约,往往不具备增设新线的条件,一般考虑改扩建方案。

对于低等级公路隧道,病害严重或事故率较高时,以改善线形、提高行车安全性为目的,可考虑道路改线,增建隧道。既有隧道扩建中断交通无法保通或保通影响较大时,可考虑增建隧道方案。

改建主要是指既有隧道断面满足行车要求,对既有隧道土建结构、机电及其他设施的增补、升级、改善,如衬砌结构加固、路幅调整、路面翻修、排水沟改造、电缆沟改造、增设横洞、增加通风系统、泄水洞等排水设施。

5.2.2 隧道路段需增加车道时宜采用分离增建的方式加宽,受条件限制时可采用原位扩建方案,并符合下列规定:

1 既有双洞四车道隧道扩建成六车道隧道时,可采用增加单洞三车道方案或原位扩建方案。

2 既有双洞四车道分离式隧道扩建为八车道隧道时,可采用增建双洞四车道隧道或单洞四车道隧道方案或原位扩建方案。

3 既有双洞四车道连拱隧道扩建为双洞六车道隧道时,可采用增建一个单洞三车道隧道方案。

4 既有双洞四车道连拱隧道扩建为双洞八车道隧道时,可采用新增一个单洞四车道隧道或两个两车道隧道,也可采用改连拱隧道为单洞四车道隧道,新增一个单洞四车道隧道。

5 单洞双向行驶两车道隧道扩建为双洞四车道隧道时,宜利用既有隧道改为单洞双车道同向通行,增建一个两车道隧道,既有隧道可按照新标准进行核查后进行必要的土建及机电设施改造提升。

6 原位扩建方式一般适用于中、短隧道,应结合既有隧道断面、围岩条件、隧道净距等情况,拟合既有隧道,优先采用单侧扩挖方式,也可采用周边扩挖方

式，减少废弃工程。

条文说明：当既有隧道几何设计满足新技术标准时，设计时宜经过综合比较，尽量拟合既有隧道，尽量使既有隧道与扩建隧道关系相对固定，设计施工难度减小，减少开挖及回填工程量，降低工程造价。

7 隧道改扩建时应应对洞口接线进行相应改造。

条文说明：隧道改扩建时，应结合改扩建方式，对洞口接线进行相应改造，接线线形应与隧道线形协调，线形顺畅，指标均衡，满足路线设计相关规定。

据统计，有70%以上的事故发生在隧道引道及进洞后200m范围内，这是隧道交通事故的一大特点，为此在地形条件允许及工程规模始终的情况下，对隧道洞口事故多发点进行改造，使隧道内外线形顺畅，指标均衡。早期建设的部分隧道边仰坡过高，存在高边坡的安全隐患，如边坡失稳、落石等问题，对这些隧道需采取接长明洞、加固边坡等措施。

5.2.3 受地形、敏感环境或施工工法控制时，隧道断面可采用叠层断面形式，满足车道数布设要求。

5.2.4 同向采用两个隧道分行时，应根据隧道洞口的净距控制洞口接线分合流设计，以满足行车安全需求，并应设置完善的交通安全设施。

5.2.5 对于利用的既有隧道，应对既有隧道进行平面和纵断面设计参数拟合，结合技术标准以及既有隧道技术状况、净空、病害等情况，采取维修加固、扩建方式。

5.2.6 隧道扩建宜在并行新建隧道施工完成后进行。新建隧道施工时应减小对既有隧道结构的影响，必要时应对既有隧道采取临时保护或加固措施。

5.2.7 既有隧道横断面及机电系统改造后断面应符合改建设计标准，确保设备不侵入建筑限界，并考虑一定富裕空间。

5.2.8 改扩建后对不再作为通车使用的既有隧道，宜作为维修、养护服务通道或应急疏散救援通道等，并应根据新用途确定隧道的结构安全性和附属设施标准。

5.2.9 应采取有效的交通组织管控措施与工程措施满足或提高施工路段的通行能力与通行安全。当分流公路需进行维护改造时应开展相应的加固设计。

5.3 隧道位置选择

5.3.1 应在满足道路功能的前提下,以地形选线和地质选线为原则确定隧道位置。

5.3.2 增建隧道设计时,应根据既有隧道技术状况、围岩条件等确定隧道净距。

5.4 隧道线形设计

5.4.1 扩建隧道几何设计时根据既有隧道净空情况,宜尽可能拟合既有隧道,设计高程宜与既有隧道一致,以减少废弃工程。

条文说明:当既有隧道几何设计满足新技术标准时,设计时宜经过综合比较,尽量拟合既有隧道,尽量使既有隧道与扩建隧道关系相对固定,设计施工难度减小,减少开挖及回填工程量,降低工程造价。

5.4.2 增建隧道设计高程宜根据既有隧道渗漏水、涌水量等情况综合分析,可较既有隧道低0.2-0.6m。

条文说明:增建隧道设计高程有必要根据既有隧道的渗漏水、排水量,较既有隧道低,以便于降低既有隧道排水压力。同时应结合隧道净距、横通道纵坡等综合确定。

5.5 隧道横断面

5.5.1 改扩建隧道建筑限界宽度应符合现行《公路工程技术标准》(JTG B01)和《公路隧道设计规范》(JTG 3370.1)规定。既有隧道利用的,可按原设计规范执行。

5.5.2 当设计速度提升时,对于利用的既有隧道应重新确定建筑限界。

条文说明:当设计速度提升时,利用既有隧道时,应按照新标准确定建筑限界,否则应进行改扩建,或按照原设计速度限速,但应评估对道路总体运行的影

响。

5.5.3 既有隧道利用时，紧急停车带长度可按原设计规范。原位扩挖时应按照现行规范规定执行。

5.5.4 既有隧道维修加固不应侵入建筑限界。

5.6 横通道与紧急停车带

5.6.1 增建隧道、扩挖隧道与既有隧道互为逃生通道时，横通道设置应符合新建隧道的规定。

5.6.2 横通道位置尽量选择在围岩较好、隧道病害较少段落，或横通道建设和病害处治协同考虑。

5.6.3 地形条件允许时，可设置直通地面的横通道。

5.6.4 增建横通道结构外缘与既有隧道施工缝或变形缝间距应不小于2m。

5.6.5 既有隧道洞口外联络道应与增建隧道联通。同向分行的两隧道间，洞外应设置联络道及交通诱导设施。

条文说明：隧道改扩建，单方向行车采用两个隧道分行是目前较为普遍的现象，为方便日常养护和事故救援，同向分行的两个隧道间也需要设置联络道；为减少驾驶人选择车道带来的行驶安全和交通量不均衡等问题，有必要设置交通分流诱导设施。

5.6.6 增建隧道与原位扩建隧道紧急停车带设计执行现行《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）相关规定。利用的既有隧道按照原设计标准执行。

5.7 施工计划

5.7.1 隧道改扩建设计应制定施工计划，主要包括施工方法、工艺及工序、临时设施、工区划分、施工便道、弃渣场、监控量测、交通组织、工期、环境保护等内容。

5.7.2 施工计划制定应符合以下规定：

1 应考虑工程量、施工难易程度及对交通影响程度等因素，确定合理的施工

方案和施工进度。

- 2 既有隧道加固、拆除、扩挖施工应提出必要的加固和监测方案。
- 3 交通组织方案应提出交通导行、管制、应急预案等。

5.7.3 隧道改扩建采取不中断交通的施工方案时,优先采用不影响交通的施工方案,可利用联络通道、临时便道、互通立交等进行交通导行;当施工对既有隧道运营产生不可控风险时应采取局部封闭施工方式。

征求意见稿

6 荷载与结构计算

6.1 一般规定

6.1.1 当改扩建隧道围岩压力明确时,可采用荷载结构法进行结构计算。当围岩压力较难确定或改扩建施工方法较为复杂时,可采用地层结构法进行计算。

6.1.2 既有隧道工程质量较好,运营后支护结构无明显变异时,改扩建地段的围岩级别可以按既有隧道设计时确定的围岩级别;既有隧道工程质量较差,运营后支护结构有明显变异时,改扩建地段的围岩级别需根据围岩实际情况重新确定。

6.1.3 既有隧道塌方段落围岩压力计算宜符合以下规定:

1 原塌方体高度小于《公路隧道设计规范》(JTG 3370.1)推荐的围岩竖向压力经验公式的计算荷载高度,对塌方体进行系统处理且检测密实,改扩建时围岩压力可参照新建隧道确定;

2 原塌方体高度大于计算得出的围岩竖向均布压力换算土柱高度,施工中未对塌方体进行系统处理或检测不密实,可按实际塌方体高度计算,并结合既有衬砌变形、裂损情况考虑荷载的不均匀分布;

3 既有隧道采取注浆措施,经现场检测确认对围岩有填充胶结作用时,且注浆有效固结范围应超出扩挖线1m以上时,可将围岩级别适当提高后计算围岩压力。

4 隧道扩建时,应加强核查围岩的结构特征和软弱结构面情况,分析是否会发生显著的不对称围岩压力。

6.2 扩挖大断面隧道荷载计算

6.2.1 扩挖大断面隧道深埋与浅埋的判定可根据荷载等效高度值,并结合地质条件、施工方法等因素综合判定。荷载等效高度值可按式(6.2-1)与式(6.2-2)计算:

$$H_p = (2 \sim 2.5)h_q \quad (6.2-1)$$

$$h_q = \frac{q}{\gamma} \quad (6.2-2)$$

式中： H_p —扩挖隧道深埋与浅埋的分界深度（m）；

h_q —荷载等效高度（m）；

q —垂直均布压力（ kN/m^2 ）；

γ —围岩重度（ kN/m^3 ）。

6.2.2 既有隧道施工期间围岩未发生垮落、大变形等，运行期衬砌无明显变形或开裂，扩挖大断面隧道围岩压力可参照新建隧道围岩压力的计算方法。

6.2.3 既有隧道施工期间发生大变形、塌方的段落应根据塌方的高度与横向范围，确定扩挖断面隧道围岩级别和围岩压力。

6.2.4 深埋条件下，计算扩挖大断面隧道围岩压力时，按松散压力考虑，其垂直及水平荷载可参照新建深埋隧道荷载的计算方法。

6.2.5 浅埋条件下，扩挖大断面隧道围岩压力计算方法可按本规范附录C计算。

6.3 扩挖连拱隧道荷载计算

6.3.1 扩挖连拱隧道深埋与浅埋的判定可根据荷载等效高度值，并结合地质条件、施工方法等因素综合判定。荷载等效高度的计算方法可参照公式（6.2-1）、（6.2-2）。

6.3.2 既有连拱隧道施工期间未发生垮落、大变形等，运行期衬砌无明显变形或开裂，扩挖连拱隧道围岩压力可参照新建连拱隧道围岩压力的计算方法。

6.3.3 既有连拱隧道施工期间发生大变形、塌方的段落，应根据塌方的高度与横向范围确定既有连拱隧道扩挖段围岩级别和围岩压力。

6.3.4 当扩挖连拱隧道拱顶围岩下沉，收敛位移较小，且中隔墙顶部回填及时，顶部围岩与中墙密切接触，扩挖连拱隧道有效宽度可按照隧道总宽度的（0.6~0.7）倍计算。

6.3.5 当扩挖连拱隧道拱顶围岩下沉和洞周收敛位移较大时，或中隔墙顶部围岩与中墙接触不好，但顶部围岩与中墙接触不好，扩挖连拱隧道有效宽度可按照隧道总宽度的（0.7~1.0）倍计算。

6.3.6 浅埋条件下，扩挖连拱隧道围岩压力可按本规范附录D计算。

6.3.7 偏压条件下，扩挖连拱隧道围岩压力可按本规范附录E计算。

6.4 扩挖小净距隧道荷载计算

6.4.1 扩挖小净距隧道深埋与浅埋的判定可根据荷载等效高度值，并结合地质条件、施工方法等因素，按式（6.4-1）及式（6.4-2）判定：

$$H_p = (2 \sim 2.5)h_q \quad (6.4-1)$$

$$h_q = h_{q1} + h'_{q2} \quad (6.4-2)$$

式中： H_p —扩挖小净距隧道深浅埋分界深度（m）；

h_q —扩挖小净距隧道拱部内侧围岩垂直压力的荷载等效高度（m）；

h_{q1} —扩挖小净距隧道基本围岩垂直压力的荷载等效高度（m）；

h'_{q2} —扩挖小净距隧道内侧附加围岩垂直压力的荷载等效高度（m）。

6.4.2 既有小净距隧道施工期间未发生垮落、大变形等，运行期衬砌无明显变形或开裂，扩挖小净距隧道围岩压力可参照新建小净距隧道围岩压力的计算方法。

6.4.3 既有小净距隧道施工期间发生大变形、塌方的段落，应根据塌方的高度与横向范围，确定扩挖小净距隧道围岩级别和围岩压力。

6.4.4 深埋条件下，扩挖小净距隧道围岩压力按松散压力考虑，其垂直压力与水平侧压力可参照新建深埋小净距隧道荷载的计算方法。

6.4.5 浅埋条件下，扩挖小净距隧道围岩压力的计算应符合下列规定：

1 当扩挖小净距隧道处于以下两种状态时，作用于隧道的垂直压力、水平侧压力可按照单洞隧道围岩压力的计算方法：

1) 隧道埋深小于 h_q ；

2) 隧道埋深大于 h_q ，小于或等于 H_p 时，但破裂面交点位于地表及以上。

2 当扩挖小净距隧道埋深大于 h_q ，小于或等于 H_p 时，且地表接近水平时，破裂面交点位于地表以下，可参照新建浅埋小净距隧道围岩压力的计算方法。

6.4.6 偏压条件下，扩挖小净距隧道围岩压力的计算应符合下列规定：

- 1 地面横坡偏斜，当隧道埋深小于 h_q 时，或隧道埋深大于 h_q ，小于或等于 H_p 时，且破裂面交点位于地表及以上时，其垂直压力、水平侧压力可参照单洞隧道围岩压力的计算方法。
- 2 地面横坡偏斜，隧道埋深大于 h_q 、小于或等于 H_p ，且破裂面交点位于地表以下时，可参照新建偏压小净距隧道围岩压力的计算方法。

6.5 增建小净距隧道荷载计算

6.5.1 在一侧和两侧增建小净距隧道时，应考虑既有隧道外侧附加松散压力，其荷载分布示意图见图6.5-1。

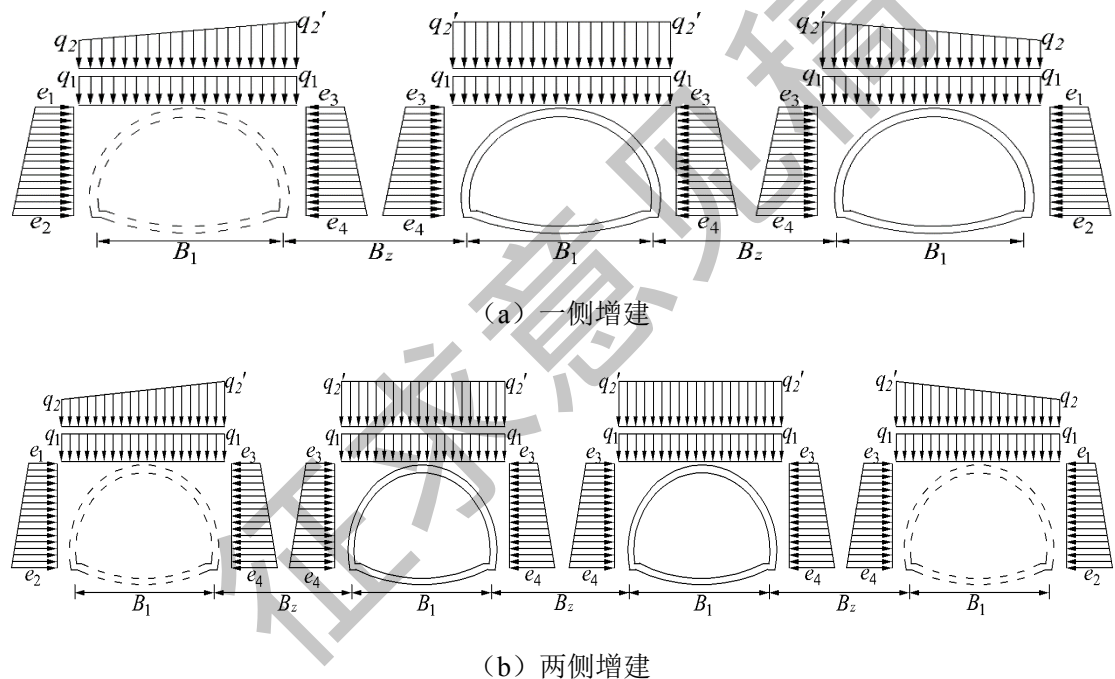


图6.5-1 一侧和两侧增建小净距隧道的荷载分布示意图

6.5.2 增建小净距隧道深埋与浅埋应结合地质条件、施工方法以及荷载等效高度值等因素判定，荷载等效高度的计算方法可参照公式（6.4-1）及式（6.4-2）计算。

6.5.3 增建深埋小净距隧道围岩压力可按本规范附录F计算。

6.5.4 增建浅埋小净距隧道围岩压力可按本规范附录G计算。

6.5.5 偏压条件下增建小净距隧道围岩压力可按本规范附录H计算。

6.6 扩挖隧道衬砌结构计算

6.6.1 深埋扩挖隧道与浅埋扩挖隧道中的整体式衬砌或复合式衬砌的二次衬砌均可采用荷载结构法计算。

6.6.2 采用荷载结构法计算扩挖隧道衬砌结构的压力与变形时,需考虑弹性抗力等因素。弹性抗力的大小及分布,对回填密实的衬砌可采用局部变形理论,按下式计算:

$$\sigma = k\delta \quad (6.6-1)$$

式中: σ —弹性抗力的强度 (MPa);

k —围岩弹性抗力系数;

δ —衬砌朝向围岩的变形值 (m), 变形朝向洞内时取零。

6.6.3 按破损阶段验算构件截面强度时,应根据不同的荷载组合,分别采用不同的安全系数,并不应小于表6.6-1和表6.6-2所示的数值。验算施工阶段的强度时,安全系数可采用表6.6-1和表6.6-2“永久荷载+基本可变荷载+其它可变荷载”栏内的数值乘以折减系数0.9。

表6.6-1 混凝土和砌体结构各种荷载组合的强度安全系数

破坏原因	混凝土			砌体		
	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载	永久荷载或永久荷载+偶然荷载	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载	永久荷载+偶然荷载
混凝土或砌体达到抗压极限强度	2.4	2.0	1.8	2.7	2.3	2.0
混凝土达到抗拉极限强度	3.6	3.0	2.7	—	—	—

表6.6-2 钢筋混凝土结构各种荷载组合的强度安全系数

破坏原因	永久荷载或永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载	永久荷载+偶然荷载
钢筋达到极限强度或混凝土达到抗压或抗剪极限强度	2.0	1.7	1.5
混凝土达到抗拉极限强度	2.4	2.0	1.8

6.6.4 扩挖隧道围岩稳定性分析,可采用有限元强度折减法验算扩挖隧道施

工过程中的围岩安全系数,可将初期支护施工后的围岩安全系数作为判断围岩稳定性的依据。

6.6.5 进行扩挖隧道衬砌结构计算时,围岩的物理力学参数应结合既有隧道的地勘资料、隧道竣工资料,并通过室内或现场试验获得,无资料时可根据围岩级别选用。隧道扩挖后,应根据地质概况和监控量测结果对其修正。

6.6.6 扩挖隧道衬砌结构的混凝土和砌体矩形截面轴心与偏心受压构件的抗压强度计算方法与新建隧道相同,按下式计算:

$$KN \leq \varphi \alpha R_a b h \quad (6.6-2)$$

式中: K —安全系数,按表6.5-1采用;

N —轴向力(kN);

φ —构件纵向弯曲系数,对隧道衬砌、明洞拱圈及墙背紧密回填的边墙,

可取 $\varphi=1$;对其它构件,应根据其长细比按表6.6-3采用;

α —轴向力的偏心影响系数,按表6.6-4采用;

R_a —混凝土或砌体的抗压极限强度,按《公路隧道设计规范 第一册土建工程》(JTG3370.1-2018)中表5.2.4和表5.2.15采用。

b —截面宽度(m);

h —截面厚度(m)。

表6.6-3 混凝土及砌体构件的纵向弯曲系数

H/h	<4	4	6	8	10	12	14	16
纵向弯曲系数 φ	1.00	0.98	0.96	0.91	0.86	0.82	0.77	0.72
H/h	18	20	22	24	26	28	30	
纵向弯曲系数 φ	0.68	0.63	0.59	0.55	0.51	0.47	0.44	

注: 1. H 为构件的高度, h 为截面短边的边长(当中心受压时)或弯矩作用平面内的截面边长(当偏心受压时);

2. 当 H/h 为表列数值的中间值时,可按内插法求得。

表6.6-4 偏心影响系数 α

e_0/h	α	e_0/h	α	e_0/h	α	e_0/h	α	e_0/h	α
0.00	1.000	0.10	0.954	0.20	0.750	0.30	0.480	0.40	0.236

e_0/h	a	e_0/h	a	e_0/h	a	e_0/h	a	e_0/h	a
0.02	1.000	0.12	0.923	0.22	0.698	0.32	0.426	0.42	0.199
0.04	1.000	0.14	0.886	0.24	0.645	0.34	0.374	0.44	0.170
0.06	0.996	0.16	0.845	0.26	0.590	0.36	0.324	0.46	0.142
0.08	0.979	0.18	0.799	0.28	0.535	0.38	0.278	0.48	0.123

注：1. e_0 为轴向力偏心距

$$2. \alpha = 1.000 + 0.648(e_0/h) - 12.569(e_0/h)^2 + 15.444(e_0/h)^3$$

6.6.7 扩挖隧道衬砌抗裂要求计算方法与新建隧道相同，混凝土矩形截面偏心受压构件的抗拉强度按下式计算：

$$KN \leq \frac{1.75R_1bh}{\frac{6e_0}{h} - 1} \quad (6.6-3)$$

式中： K —安全系数，按表6.6-1采用；

N —轴向力（kN）；

R_1 —混凝土的抗拉极限强度，按《公路隧道设计规范第一册土建工程》（JTG3370.1-2018）中表5.2.4采用；

b —截面宽度（m）；

h —截面厚度（m）；

e_0 —轴向力偏心距。

6.6.8 扩挖隧道钢筋混凝土受弯和偏心受压构件截面强度的计算方法可按《公路隧道设计规范第一册土建工程》（JTG3370.1-2018）中附录N计算。

6.7 既有隧道结构计算

6.7.1 隧道结构按破损阶段法验算，必要时配筋量按限制裂缝宽度计算；同时按承载能力和限制裂缝宽度计算。

条文说明

在结构设计领域，目前多数工程结构已采用概率极限状态设计法，以可靠指标度量结构构件的可靠度，并采用以分项系数表达的计算式设计。由于公路隧道围岩压力的不确定性，样本及专题研究成果积累都还尚少，尚未具备采用概率极限状态设计法的条件。

6.7.2 衬砌计算应符合下列规定：

- 1 复合式衬砌的二次衬砌宜按地层结构法计算，也可采用荷载结构法计算；
- 2 衬砌施工先做仰拱后作边墙时，应考虑仰拱对隧道衬砌结构内力的影响。先做边墙后作仰拱时，一般不计算仰拱的作用；但运营后围岩压力增长仍较显著的地层，应考虑仰拱对结构内力的影响；
- 3 结构强度安全系数的取值应具有必要的安全储备，以保证隧道建筑物在正常设计施工条件下安全使用。

6.7.3 在采用地层结构法计算围岩和初期支护稳定性时，可采用《公路隧道设计规范第一册土建工程》（JTG3370.1-2018）第9.2.6的隧道强度安全系数判断围岩稳定性。

6.7.4 复合式衬砌的二次衬砌应按承载结构进行力学分析，计算方法可采用荷载结构法。

6.7.5 混凝土矩形截面偏心受压构件抗压强度控制与抗拉强度控制的分界偏心可通过计算确定，如图6.7-1所示，当 $e_0 \leq 0.2h$ 时，为抗压强度控制承载能力；当 $e_0 > 0.2h$ 时，为抗拉强度控制承载能力。

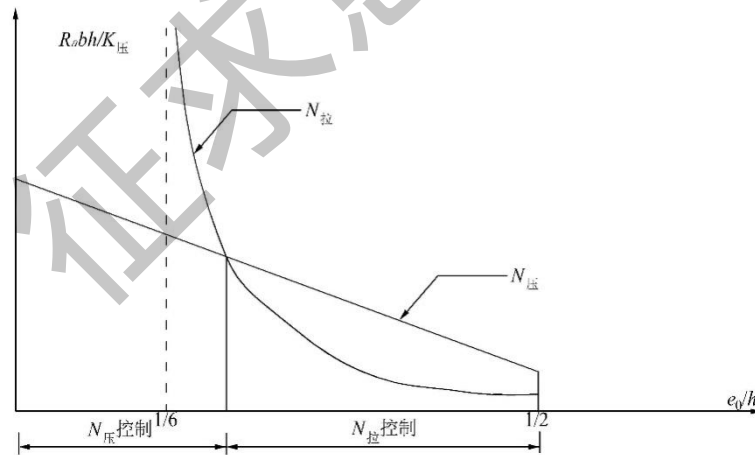


图6.7-1 抗压、抗拉控制承载能力

$$N_{拉} = \frac{1.75 R_t b h}{K_{拉} \left(\frac{b e_0}{h} - 1 \right)} \quad (K_{拉} = 3.6) \quad (6.7-1)$$

$$N_{压} = \frac{R_a b h (1 - 1.5 \frac{L_0}{h})}{K_{压}} \quad (K_{压} = 2.4) \quad (6.7-2)$$

式中： K —安全系数，按表6.6-1采用；

N —轴向力（kN）；

R_t —混凝土的抗拉极限强度，按《公路隧道设计规范第一册土建工程》（JTG3370.1-2018）中表5.2.4采用；

R_a —混凝土或砌体的抗压极限强度，按《公路隧道设计规范第一册土建工程》（JTG3370.1-2018）中表5.2.4和表5.2.15采用；

b —截面宽度（m）；

h —截面厚度（m）；

e_0 —轴向力偏心距。

条文说明：为使衬砌结构形式选择合理，需对衬砌截面的偏心距做出规定，在控制分界偏心处，抗拉和抗压承载力相等；在分界偏心的两侧分别为抗压控制承载能力或抗拉控制承载能力，当偏心距超过一定数值后，衬砌截面的承载能力显著降低，衬砌截面由抗拉强度控制，故除满足强度要求外，对偏心距也应适当加以控制。

6.7.6 砌体偏压构件应验算抗压强度，并按 $e_0 \leq 0.3h$ 控制，控制裂缝开度。

6.7.7 在隧道开挖后，应根据施工现场的实际地质情况和监控量测结果对围岩参数及计算分析结果进行修正。

6.7.8 明洞计算应符合下列规定：

1 明洞衬砌边墙背超挖部分用混凝土或浆砌片石回填时，应考虑弹性抗力的作用；用土石回填时，应考虑计算土压力的作用；

2 明洞结构的强度安全系数与隧道衬砌相同。

7 衬砌结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 改扩建隧道宜采用复合式衬砌，应能满足围岩稳定、结构安全耐久的要求。

条文说明：改扩建隧道所处的道路等级教高，特别是原位扩建隧道是在原有已受到既有隧道施工扰动过的围岩中进行隧道的修建，因此宜采用复合式衬砌以满足衬砌安全耐久性的要求。

7.1.2 衬砌结构设计应综合考虑地质条件、改扩建方式和既有隧道的影响。

条文说明：隧道的扩建布置方式、既有隧道的位置和健康状况会对衬砌的受力造成较大的影响，在衬砌的设计中应予充分的考虑。

7.1.3 扩建隧道衬砌结构设计，通过工程类比及结构计算综合分析确定，必要时还可通过模型试验分析确定。

条文说明：由于扩建隧道样本较少和扩建形式的多样性，工程类比有一定的局限性，结构计算分析和模型试验显得重要。

7.1.4 隧道衬砌结构应考虑地区环境的影响，隧道二衬混凝土强度等级不低于C30，衬砌混凝土及钢筋保护层厚度应遵循《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310）相关规定执行。

7.1.5 两车道隧道衬砌结构边墙及以下围岩为单轴饱和抗压强度大于等于30MPa的微风化岩层时，衬砌结构可不设仰拱。

条文说明：由于拱部围岩的原因，围岩级别定为IV或V级，设计时IV或V围岩段常采用带仰拱的衬砌，实际上衬砌边墙及以下围岩为微风化硬岩时，仰拱的作用几乎可以忽略。

7.1.6 位于地震区的隧道洞口、浅埋和偏压地段以及断层破碎带等地段应按现行《公路隧道抗震设计规范》（JTG/T 2232-01）进行抗震设防。

7.2 增建隧道衬砌结构

7.2.1 增建隧道与既有隧道净距小于表7.2.1规定时, 应按照小净距隧道设计增建隧道, 必要时对既有隧道衬砌结构进行加固, 增建隧道与既有隧道净距不宜小于8m。

表7.2.1 增建隧道与既有隧道净距分界表 (m)

隧道断面	围 岩	
	IV级	V级
两车道	15	20
三车道	20	25

条文说明: 增建隧道时, 中央岩宽度对增建隧道和既有隧道都有不利的影响, 因此对最小净距提出要求。

7.2.2 增建隧道近的既有隧道施工期间发生过塌方、涌泥段落, 增建隧道衬砌结构设计应考虑其不利影响并加强支护参数, 必要时对既有隧道的空腔段落加固处理。

条文说明: 主要考虑既有隧道病害处理后, 对周边岩层仍存在着不利的影响, 增建隧道的衬砌应予相应的增强。

7.2.3 增建隧道支护参数可参照表7.2.3-1和7.2.3-2进行设计, 并结合结构计算综合确定。

表7.2.3-1 增建两车道隧道衬砌参数参照表

围 岩 级 别	初 期 支 护								二次衬砌厚度	
	喷射混凝土（cm）		锚杆（m）			钢筋网 间距 （cm）	钢拱架		拱、墙 混凝土 （cm）	仰拱混 凝土 （cm）
							间距 （m）	截面高 （cm）		
V	28-24	28-24	拱墙	3.5	1.0	20×20	0.5-0.7	工20-18	55-45 （*）	55-45 （*）
IV	20-18	20-18	拱墙	3.0	1.2	20×20	0.7-1.0	14-12 （4φ25）	40（*） 35	40（*）
III	8-10		拱墙	2.5	1.2	20×20			30	
II	5-8		局部	2.5	1.2				30	

(*) 表示钢筋混凝土

表7.2.3-2 增建两车道小净距隧道衬砌参数参照表

围 岩 级 别	初 期 支 护								二次衬砌厚度	
	喷射混凝土（cm）		锚杆（m）			钢筋网 间距 （cm）	钢拱架		拱、墙 混凝土 （cm）	仰拱混 凝土 （cm）
	拱 墙	仰 拱	位 置	长 度	间 距		间距	截面高		
							（m）	（cm）		
V	30-24	30-24	拱墙	3.5	1.0	20×20	0.5-0.6	工22-18	60-45 （*）	60-45 （*）
IV	24-18	24-18	拱墙	3.0	1.0	20×20	0.7	工18、12 （4Φ25）	45（*） 40	45（*）
III	10-15		拱墙	2.5	1.2	20×20			30	
II	5-8		局部	2.5	1.2				30	

(*) 表示钢筋混凝土

7.2.4 当增建隧道与既有隧道形成小净距隧道时,应根据净距大小、围岩情况,对中夹岩进行超前加固,当中夹岩宽度不小于8m时,且为强(全)风化风化层时宜采用超前小导管注浆加固。

条文说明:小净距中夹岩采用何种加固措施,与中夹岩所处的岩层有关,一般情况下中夹岩处于微风化岩层的不要采取加固措施,处于中风化岩层的采用预应力锚杆加固,处于强(全)风化风化层的采用外插角45°的超前小导管注浆加固。

7.2.5 增建隧道与既有隧道横通道相接处,横通道端部的衬砌应采用钢筋混凝土,长度不小于横洞的开挖宽度;通道衬砌应与既有隧道的衬砌设置环向短钢筋连接。

条文说明:当增建隧道与既有隧道之间设置横通道时,需凿除既有隧道的衬砌和其背后的围岩,因凿除过程对既有隧道衬砌和围岩都会带来不利的影响,甚至既有隧道二衬背后处在缺陷,所以应对横通道的衬砌进行加强。

7.3 扩挖单洞隧道衬砌结构

7.3.1 原位扩建隧道衬砌结构设计应考虑既有隧道结构缺陷和病害情况。

条文说明:原位隧道的衬砌受力情况与既有隧道中塌方、突泥涌水和运行中发生的既有隧道衬砌开裂脱落等缺陷病害密切相关。

7.3.2 扩挖隧道穿过既有隧道塌方体时,应对隧道塌腔及回填土进行加固,

可采取注浆加固。衬砌初期支护的锚杆宜穿过既有隧道塌方腔体及回填体，锚固在原有围岩体，或采取径向注浆小导管加固。

条文说明：考虑既有隧道塌腔回填体可能存在着不稳定性，扩建隧道衬砌的锚杆宜尽可能穿过既有隧道塌腔回填体锚入原岩3~5米。

7.3.3 原位扩建隧道二次衬砌结构不得利用既有隧道的二次衬砌结构，当初期支护部分利用既有隧道的衬砌结构时，扩建隧道的二次衬砌应按围岩荷载100%设计。

条文说明：考虑二次衬砌的整体性、其结构的承载能力和在衬砌结构中的重要性，二次衬砌应为新建的整体结构；扩建中初期支护部分利用既有隧道的衬砌，考虑扩建隧道初期支护的耐久性和整体性可能削弱，应加强扩建隧道的二次衬砌的强度。

7.3.4 既有单洞2车道隧道原位扩建为4车道隧道支护参数可参照表7.3.2进行设计，并结合结构计算综合确定。

表7.3.3 2车道隧道原位扩建为4车道隧道衬砌参数参照表

围岩级别	初 期 支 护								二次衬砌厚度	
	喷射混凝土 (cm)		锚杆 (m)			钢筋网 间距 (cm)	钢拱架		拱、墙 混凝土 (cm)	仰拱混 凝 土 (cm)
							间距 (m)	截面高 (cm)		
	拱 墙	仰 拱	位 置	长 度	间 距					
V	30	30	拱墙	5.0	0.5-0.6	20×20	0.5-0.6	HK200-17 5	70-60 (*)	70-60 (*)
IV	26	26	拱墙	4.5	0.6-0.8	20×20	0.6-0.8	工20b	55-50 (*)	55-50 (*)
III	15-20		拱	3.5	1.0-1.2	20×20	1.0 局部	14 (4Φ25) 局部	45 (*)	45 (*)
II	10-12		局部	2.5	1.2	20×20 局部			40 (**)	

(*) 表示钢筋混凝土，(**) 表示素混凝土加钢筋网

条文说明：由于扩建隧道样本少，工程所在的地域和地质代表性有所欠缺，在设计参考表7.3.4时，要重点考虑隧道所在地域的地形和地质特点，拟定衬砌参数，并通过验算确定。

7.3.5 扩挖轮廓在既有隧道锚杆圈范围内时,扩建隧道应采用径向小导管注浆代替系统锚杆;不在锚杆圈范围内的新开挖侧采用普通的系统锚杆。

条文说明:由于既有隧道锚杆设置范围包含围岩松动,扩挖时会对松动圈造成二次扰动,有必要对其采用径向小导管注浆予以加强。

7.3.6 单洞三车道或四车道隧道V级围岩初期支护钢支撑应采用H型钢架。当围岩软弱、变形难于控制时可采用双层支护形式。

条文说明:通常扩挖隧道跨度大,所受的荷载大,安装精度控制困难,抗扭刚度大的钢支撑不易造成失稳。

7.3.7 临时支撑设计时,应考虑其拆除时初期支护内力的增量,增量值宜控制在内力总量的25%以内;临时支撑应设计成曲面(或曲杆)。

条文说明:主要考虑到临时支撑既要充分发挥作用,又要在其拆除时不会给初期支护增加较大的瞬间荷载,临时支撑应设计成曲面或曲杆主要避免直面或直杆的突然失稳和对围岩提供有利的抗力。

7.3.8 当衬砌的基底置于强(全)风化层时,衬砌除加大仰拱矢跨比外,还应应对拱脚地基进行注浆加固处理。

条文说明:考虑大跨隧道对地基的承载力和沉降要求较高,南方地下水较高,加之施工扰动造成隧底承载力降低,有必要予以加固。

7.4 扩挖连拱隧道衬砌结构

7.4.1 扩挖连拱可采用在既有左右洞内单侧扩挖,也可采用原位整体扩挖为大跨断面,应结合项目具体情况确定。

7.4.2 连拱隧道采用单侧扩挖时,衬砌设计时应考虑左右洞扩挖施工不同步造成的偏压荷载作用。

条文说明:连拱隧道的扩宽往往左右洞施工不同步,造成两洞对中墙推力的不平衡,在衬砌设计时就应考虑这种不对称因素的影响。

7.4.3 连拱隧道原位单侧扩挖,结构设计时可利用既有隧道的中墙作为扩挖隧道的中隔墙,二次衬砌严禁利用既有隧道的衬砌结构。

条文说明：保留既有隧道的中墙对扩挖施工的安全至关重要，设计中应予保留，二次衬砌不得利用既有隧道的结构主要是考虑到结构的整体性。

7.4.4 当利用既有隧道的中墙作为扩建隧道的中隔墙时，应对既有隧道的中墙进行加固，并根据计算结果对基底进行小导管注浆加固。

条文说明：当既有隧道中墙采用复合式中墙时，可用对拉锚杆使既有隧道的中隔墙和中墙部分的二衬形成紧密稳定的结构，更好的承受围岩和施工过程中的荷载。

7.4.5 当既有隧道中墙作为扩建隧道的中隔墙，其基底加固后承载力仍不能满足要求时，扩挖隧道的初期支护和二次衬砌应闭合成环。

条文说明：扩挖隧道的初期支护和二次衬砌应闭合成环，可减小既有隧道中墙的受力。

7.5 横通道设计

7.5.1 横通道结构设计可采用工程类比法，宜采用复合式衬砌结构。横通道宜避开地质条件较差地段。原位扩建隧道、增建隧道与既有隧道之间需设置横通道时，应避开既有隧道施工发生塌方、大变形、涌突水等段落。

条文说明：既有隧道的塌方、大变形等病害，会增加横通道的施工难度，加剧对既有隧道不利的影响。

7.5.2 横通道与既有隧道连接段3m范围内的二次衬砌应采用钢筋混凝土结构，厚度不应小于30cm。

条文说明：加强横通道与既有隧道连接段的衬砌，有利与既有隧道结构的稳定。

7.5.3 既有隧道主洞衬砌与横通道衬砌间应采用 π 型植筋连接，植筋环向间距不应大于30cm，植筋直径不应小于16mm。

条文说明：加强既有隧道衬砌和横通道衬砌的整体性。

7.6 既有隧道加固设计

7.6.1 既有隧道应进行质量检测与评估，对结构缺陷和病害的成因、程度及发展趋势等进行分析评估，根据隧道病害情况及评估结果对既有隧道进行加固设计。

条文说明：既有隧道的缺陷和病害对扩挖施工安全有重大影响，较严重的缺陷和病害如处置不当可能引发扩挖施工中严重的事故。

7.6.2 既有隧道加固方案设计应综合考虑隧道病害状况、地形、地质、生态环境、运营和加固施工条件，进行多方案技术经济比选，处治方案可有一种或多种组成。

7.6.3 针对原位扩建的既有隧道存在的塌方缺陷、衬砌背后空腔、衬砌裂缝和欠厚等病害，设计时应采取相应的处理措施，并符合以下规定：

1对病害或缺陷的衬砌进行钢拱架临时加固。

2衬砌背后空洞采用C20混凝土回填，应回填至扩挖线外不小于3.0m。

条文说明：扩建隧道在施工时因既有隧道缺陷及病害引发的事故时有发生，因此原位扩宽和受扩建影响的既有隧道，设计时应应对现存的病害和缺陷予以处理，以保证施工安全。

7.6.4 施工期保通的既有隧道，在衬砌病害可能影响行车安全的段落，应采用钢拱架和密眼钢筋网等加固措施。

条文说明：采用密眼钢筋网的目的，是预防施工时小掉块威胁行车安全。

8 其他工程改扩建设计

8.1 一般规定

8.1.1 改扩建隧道应根据现行规范设置相应的附属工程，保证隧道使用功能。

8.1.2 重建洞门、增长明洞、边仰坡加固等洞口工程应作好与既有隧道衔接。

8.1.3 改扩建隧道防排水设计应遵循“防、排、截、堵结合，因地制宜，综合治理”的原则，保证隧道防排水系统完整通畅。

8.2 洞门及洞口

8.2.1 增建隧道洞口位置选择应遵循“早进洞、晚出洞”的原则，临近既有隧道时应注意与既有隧道洞口的协调。

8.2.2 改扩建洞口位置应根据洞外边仰坡及坡体稳定情况、回填情况、洞外有关工程、营运要求等条件综合确定；对于洞外有坍方落石时应进行调查并妥善处理。

条文说明：洞口施工时会对既有洞口边坡造成扰动，可能在施工期间发生塌方落石，因此在确定改扩建隧道洞口时，应对洞口周边已有的或可能发生塌方落石的地段进行重点调查与治理。

8.2.3 原位扩建隧道宜采用将既有隧道回填挖除及边、仰坡加固后的进洞方式。

8.2.4 洞门构造及基础设置等按照现行《公路隧道设计规范》(JTG 3370.1)执行。

8.2.5 对边坡可能发生蠕变变形或滑动的隧道改扩建，洞口段需抵抗边坡的下滑力，应考虑边仰坡与隧道结构的相互影响，加强洞口段衬砌构造。

8.2.6 增建隧道和既有隧道的洞门形式、绿化景观宜协调统一。

8.3 防排水系统

8.3.1 改扩建隧道防排水设计应考虑对自然环境、城镇环境的影响，不得因

隧道排水造成地表建筑物下沉、井泉干枯、影响民众生活等社会环境问题。

8.3.2 改扩建隧道防排水系统重新施作时应按现行《公路隧道设计规范》(JTG 3370.1)执行。增建和扩建隧道二次衬砌抗渗等级不宜小于P8, 根据地下水赋存状态、围岩完整性等综合确定。

8.3.3 二次衬砌水平、环向施工缝、沉降缝、伸缩缝应采取可靠的防水措施。

8.3.4 地下水有腐蚀性时, 应根据地下水类型, 初期支护和二次衬砌采用抗侵蚀混凝土。

8.3.5 隧道洞内排水应按照地下水与营运洗消污水、消防污水分离排放的原则设置排水系统, 排水系统应具有可维修性。

8.3.6 增建建与既有隧道防排水的衔接应符合下列规定:

1 增建隧道应根据既有隧道排水系统状态, 宜适当降低增建隧道高程, 降低既有隧道排水系统压力。

2 单洞扩挖隧道可不考虑既有隧道的防排水系统利用, 按照新建隧道设计防排水系统。有条件时, 扩建隧道可改造利用既有隧道中心沟出口。

3 增设横通道时, 既有隧道侧衬砌破除应采用机械或静力爆破, 保护衬砌及背后防水层, 与横通道口部相接的防水层拆除时应预留一定的接茬宽度。横通道二衬与既有隧道二衬相接部位设置带注浆管遇水膨胀止水条。

8.3.7 寒区隧道应考虑防排水系统防冻保温设计, 可在隧道内铺设保温材料或采用主动供暖方式对管沟进行保温, 保证冬季排水管(沟)内水流不冻结。

8.4 通风土建工程

8.4.1 隧道改建、扩建时, 应对原通风系统及通风效果进行评估, 当不满足要求时可重新更换风机或采取增设斜竖井、内轮廓降阻处理等措施。

8.4.2 增建隧道采用斜竖井或平导分段通风方式时, 通风系统布置应结合地形、既有隧道地质条件、既有隧道通风方式等情况综合考虑。

8.4.3 既有隧道内需增设射流风机时应满足下列要求:

1 射流风机不得侵占建筑限界。

2射流风机固定应牢固、可靠。

8.5 泄水洞

8.5.1 对于穿越富水断层、岩溶发育段的隧道,当渗漏水严重时宜采取疏通、改造排水系统,增大排水系统管径、注浆堵漏等措施,当仍难以治理时宜增加与设置泄水洞方案的比较。

8.5.2 当对已设置泄水洞的隧道进行改扩建时,应综合研究改扩建后地下水的变化情况,对泄水洞采取加大断面、增加泄水孔、增加长度等措施。

8.5.3 泄水洞支护参数可采用工程类比法确定。

8.5.4 寒冷地区的泄水洞应注意防寒保温。

8.6 路面

8.6.1 利用既有隧道时宜根据路面病害进行路面修补、铣刨重新罩面、增加沥青层等措施,增加沥青层时不得侵入建筑限界。

8.6.2 对既有隧道路面出现翻浆、冒水时应增加路面下排水设施。

8.7 电缆沟槽、检修道

8.7.1 对于采用公路标准兼顾市政功能的隧道,电缆沟槽设计应根据隧道长度考虑非机动车或行人、市政管线通过需求。

8.7.2 电缆沟槽设计时应便利检修,并满足电缆防火需要。

8.7.3 检修道表面应考虑防滑设施,并可作为逃生步道。

9 施工准备

9.1 一般规定

9.1.1 隧道改扩建施工前，应熟悉设计文件，领会设计意图，做好现场调查和图纸校对工作。

9.1.2 改扩建施工前应编制实施性施工组织设计，并做好技术准备及组织落实工作，根据改扩建方案做好施工总体风险评估和重大风险专项评估。

条文说明：根据《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》风险评估分总体风险评估和专项风险评估两个层次。总体风险评估从隧道的工程规模、建设条件、技术难度等因素考虑，静态评估隧道工程整体施工安全风险大小。

专项风险评估以具体施工作业活动为对象，从分析施工作业活动特点入手，辨识常见事故类型，列出风险源清单，通过风险分析与估测，确定重大风险源，并对重大危险源进行量化的动态评估。

9.1.3 应根据工程规模、技术要求等建立工地试验室。

条文说明：根据《交通运输部办公厅关于印发工地试验室标准化建设要点的通知》要求“工地试验室标准化建设以高速公路新建、改扩建项目为主”明确规定了工地试验室建设要点。

9.1.4 施工前应收集既有隧道相关资料，掌握既有隧道衬砌结构形式，借鉴既有隧道施工经验，采用物探、钻探等方法探明衬砌背后围岩状况，做好不良地质段应对措施。

条文说明：改扩建隧道施工前要对既有隧道的结构情况、衬砌背后围岩稳定情况进行探明，如既有隧道二衬背后存在脱空坍塌等隐患，需要提前采取注浆、灌注混凝土等措施提前进行加固处理，防止改扩建施工过程中出现险情。

9.1.5 隧道施工应加强对既有隧道地质资料的对比、分析，施工过程中结合地质超前预报准确掌握前方掌子面地质条件。

条文说明：隧道施工期间可以通过对既有隧道施工期间的施工记录，地质核查资料的借鉴，以及超前地质预报可掌握掌子面前方的地质风险，并做好应对措施。

施。

9.1.6 改扩建隧道施工应做好相关施工数据的收集，做好施工记录及施工技术总结。

9.2 施工场地与临时工程

9.2.1 应做好现场地质灾害隐患和现状道路交通情况调查。

9.2.2 施工场地布置应结合工程规模、工期、地形特点和水源等情况进行布置，应满足安全和便于施工活动开展的需要，严禁将临时房屋布置在受洪水、泥石流、崩塌、滑坡及雪崩等自然灾害威胁的地段。

9.2.3 改扩建隧道施工场地选择应结合道路总体方案，可合理利用封闭交通后隧道相邻路基作为施工场地，节约用地。

条文说明：改扩建隧道施工基本上需临时封闭交通，可以利用相邻路基段作为设备拼装场地、施工驻地等，减少临时用地占地。

9.2.4 爆破器材、油库位置应满足安全防护距离要求和相关行业主管部门规定。

条文说明：易燃易爆品的存放需要满足《中华人民共和国消防法》、《危险化学品安全管理条例》等相关规定。

9.3 人员、材料及设备

9.3.1 从事隧道施工的各类特殊岗位人员应持证上岗。

9.3.2 施工前应对施工人员进行安全培训和安全、技术交底。

9.3.3 应做好工程所需材料的选择和相关检测、试验、留样工作。

9.3.4 应配备满足工程需要的施工设备和检测仪器，并完成相应检定工作。

9.3.5 施工前必须完成各种应急物资的储备。

9.3.6 应完成控制测量、既有隧道土建结构病害核查、机电设施的改迁和保护等工作。

9.4 工法选择

9.4.1 改扩建隧道施工方法应根据线位总体布设、环境条件、地质条件、隧

道长度、断面大小、设备条件、工期要求、场地条件等因素综合确定。

9.4.2 风险评估等级为重大风险的改扩建隧道工法选择可先做试验段，通过试验验证施工工法、支护参数、开挖步序、步距等能否满足设计要求。

条文说明：评估为重大风险的改扩建隧道，为了确保施工安全，开展工艺性试验验证工法的可靠性，为后续的施工提供安全保障，目的是降低施工风险，为隧道后续施工提供技术保障。

9.4.3 对既有隧道进行加固时，应根据加固荷载对既有隧道衬砌进行钢拱架或门式钢架等临时加固措施。

条文说明：如注浆加固和回填衬砌背后的空洞，都会对既有隧道的衬砌受力发生影响，设计中要根据采用的加固方案的荷载情况，对既有隧道的衬砌进行临时加固。

9.4.4 原位扩建隧道地质条件变化时，应及时变更设计，调整施工方法，并做好工序衔接，并采取相应的辅助工程措施，保证施工安全。

条文说明：根据隧道动态设计及施工调整的原则，应根据隧道的地质变化适时调整施工方法及支护参数，并做好衔接，确保开挖面及时封闭成环。

9.5 既有加固施工

9.5.1 既有隧道应根据设计文件和现场情况采取相应的加固措施，并符合下列规定：

1 既有隧道加固施工可分为临时加固与永久加固两个阶段，永久加固按设计文件和《公路隧道加固技术规范》（JTG/T 5440）相关规定执行。

2 既有隧道加固施工应采取相应的加固措施防止造成新的结构损伤或病害。

3 既有隧道加固施工不中断交通时，应制定交通组织方案，设置安全保障措施，尽量减小对正常通行的干扰。

4 既有隧道加固施工应采取必要措施，保护生态环境。

5 宜在相邻的增建隧道、扩挖隧道施工完成后进行既有隧道加固。

条文说明：在增建、扩建隧道施工完成并开放交通后，再进行利用既有隧道的维修加固施工，对交通运营影响较小。

9.5.2 改扩建隧道施工对既有隧道结构稳定有影响时，应根据影响程度和部位对既有隧道衬砌进行临时加固。加固措施应符合设计文件要求，并满足下列规定：

1 既有隧道局部或整体的临时加固，可根据隧道的结构技术状况，选用注浆、锚喷、钢支撑等措施。

2 当既有隧道衬砌渗漏水严重时，应根据具体情况在施工前采用注浆等有效措施进行治理。

3 扩挖既有隧道有坍塌风险时，宜在破除原有衬砌前，采用注浆、锚杆及管棚等方式对隧道和周边围岩进行加固。

4 加固施工过程中若发现原结构或相关工程隐蔽部位的构造有严重缺陷时，应立即停工，采取有效措施后方可继续施工。

5 当既有隧道有可能发生失稳坍塌、掉块落石等风险时，应采取预防性措施，防止发生安全事故。

6 施工前的临时加固不应遮蔽未经处治的病害，以方便后续永久加固时的进一步整治。

9.5.2 局部扩建、增建隧道施工完成后，对于利用的既有隧道，需要根据扩建隧道完成后的结构最终状态，进行必须的加固，以保证结构的长期稳定、安全。加固施工需满足以下规定：

1 局部扩建、增建隧道施工完成后，对于利用的既有隧道，需要根据扩建隧道完成后的结构最终状态，进行必须的加固，以保证结构的长期稳定、安全。

2 既有隧道渗漏水处治应先进行渗漏水处治，完成后方可进行裂缝修补。

3 对于既有隧道基底出现的裂缝、路面渗水、翻浆冒泥、底鼓和不均匀沉降等情况，应按设计要求进行隧底加固。

4 增建隧道施工爆破时，当既有隧道出现裂缝、渗漏水加剧等情况时，应立即停止爆破施工，采用相应的临时处治措施后开展隧道检测、监测，对结构安全性进行评估，优化开挖方案。

5 加固后，应对既有隧道衬砌结构承载力进行计算，当不能满足隧道安全运营要求时，应按设计要求采取针对性加固措施。

6 应结合隧道环境作用影响，对衬砌结构耐久性进行评估，按设计施作相应的防腐蚀措施。

7 洞口工程加固后应满足安全、和谐、美观的原则，并作好新建与既有隧道洞口之间衔接。

8 既有隧道内需通车时，应制定可靠的技术安全措施和周密的交通组织设计，尽量减少施工与行车的干扰，缩短工期，保证施工与运营安全。

10 改建隧道施工

10.1 一般规定

10.1.1 既有隧道改建施工前应根据衬砌结构现状进行事先加固。

10.1.2 既有隧道改建施工应符合下列规定：

- 1 应保持既有隧道主体结构的完整性，不应堵塞既有隧道的排水系统。
- 2 应根据机电和附属设施改造设计要求，做好既有设施的保护与恢复。
- 3 应按设计要求对既有隧道病害进行处治和加固。

条文说明:改建有原隧道净空高度不够、宽度不够、高度和宽度都不够等情况。高度不够时一般由挑顶和落底两种做法，相比而言落底能充分利用原有衬砌，不会扰动拱部衬砌和围岩，更加安全、简单。宽度不够时需进行单侧扩挖，高宽均不够时考虑周边扩挖。在施工前为保证施工安全，需要提前进行加固处理。

4 机电设备箱宜明敷；必须新开凿设备洞室时，应避开施工缝、沉降缝和伸缩缝位置；应采用切割凿洞方式，不得进行爆破开孔。

5 施工期间保持通车的既有隧道，应设置必要的临时安全防护措施和增设交通疏导设施。

条文说明:对既有隧道改建工程施工时，需要根据设计方案，尽可能地利用、保护和恢复既有隧道的各类设施。

10.1.3 改建隧道开挖及支护参照《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）执行。

10.2 既有隧道衬砌拆除

10.2.1 隧道改建需拆除钢筋混凝土衬砌时，应遵循“地质条件由好向差、承载由强到弱，分割多个单元拆除”的原则。拆除混凝土衬砌衬砌时，应遵循“弱预裂、早支护、分割多单元拆除”的原则。

条文说明:已完成衬砌的隧道或既有无衬砌隧道，围岩基本稳定，若要进行

改建，必将导致应力重分布，影响隧道稳定性。对于有衬砌隧道，根据隧道衬砌结构受力情况，在拱腰、矮边墙处受力集中，为结构薄弱部位，需要在拆除过程中严格控制，避免发生衬砌失稳。一般的拆除思路是以纵向分段、横向分部位拆除，采用预裂爆破或者进行密眼钻孔，将其分成多个部分后逐一拆除。

衬砌拆除顺序为先拆除单侧边墙，再拆除拱部，待已拆边墙和公布扩挖到设计尺寸并初支完成后，再拆另一侧边墙，根据扩建断面尺寸，必要时尚需设置临时支撑。

10.2.2 改建施工宜成环进行，可采用间隔分段施工。拆除长度应符合下列规定：

1 隧道二次衬砌应分段拆除，每次拆除分段长度宜为2~8m，并不得大于原衬砌一榀衬砌长度、不得跨施工缝、变形缝一次拆除。

条文说明：既有隧道衬砌结构对周边土体起到稳固支撑作用，要严格控制拆除长度，防止发生坍塌事故。

2 围岩较差、原坍塌地段拆除时，二次衬砌一次拆除长度不宜大于3m。初期支护和围岩应先加固后拆除、必要时可采取超前支护措施。二次衬砌有较严重的病害时，衬砌拆除前方应增加临时支撑。

10.2.3 拆除原有部分衬砌时，宜采用预裂爆破。爆破作业宜采用短进尺、多循环、弱爆破、炮眼宜密且浅，装药量宜少。

10.3 支护及衬砌

10.3.1 改建隧道应根据新旧断面相对位置，当既有隧道衬砌位于新隧道结构以外时，结构间空隙应采用强度等级不低于的C15混凝土回填密实。

10.3.2 改建扩挖后的二次衬砌应及早施作。

10.3.3 拆除前方应保持对外通道畅通。

11 扩建隧道施工

11.1 一般规定

11.1.1 扩建隧道施工应按照《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660)相关规定,按设计的扩挖方式进行施工,可采用钻爆法或机械凿除法施工。

11.1.2 扩建隧道施工应结合围岩工程地质与水文地质条件、埋深、既有隧道建设质量等制定专项施工方案。扩建隧道专项施工方案应包括下列内容:

- 1 既有隧道资料、检测结果
- 2 扩建隧道开挖、支护方法
- 3 既有隧道加固及拆除方法
- 4 隧道监控量测
- 5 爆破设计和爆破振动监测
- 6 应急预案
- 7 其它

11.1.3 原位扩建隧道采用钻爆法施工时,应结合围岩级别、断面大小以及既有隧道的拆除影响等因素,宜优先采用中隔壁法施工,应按设计作好预加固措施,根据视围岩变形情况与自稳能力控制循环进尺,可增加临时仰拱,早封闭。

条文说明: 根据围岩周边地质情况,在围岩自稳能力较差时尽量采用小断面多步骤开挖,减小周边围岩变形,降低施工风险。在围岩自稳性性差的地段,采取“短进尺、强支护、早封闭”的措施,及时封闭成环,降低施工风险。

11.1.4 原位扩建隧道扩挖面积较小时,可采用机械凿除的方法对断面进行开挖,减小扰动。

条文说明: 隧道扩挖面积较小开挖工程量少时,采用机械凿除的方法开挖可有效减小对围岩的扰动及对周边环境的影响。

11.1.5 隧道既有结构拆除及扩挖后,应及时喷射混凝土封闭围岩,并及早完

成初期支护。采用分部开挖时，严禁拱脚长时间悬空，初期支护设有钢架时开挖后应及时安装钢架。

条文说明：落实隧道施工“十八字方针”，及时封闭成环，降低施工风险。

11.1.6 隧道开挖遇到软弱地层或既有隧道施工发生过塌方时，应按设计要求先加固地层，并采取加强锁脚锚管(杆)、扩大拱脚、临时仰拱等控制沉降措施，控制围岩及初期支护变形量。

条文说明：既有隧道施工发生过塌方时，扩挖二次扰动更易造成围岩失稳，应采取必要的加固措施，降低施工风险。

11.1.7 当围岩地质较差、开挖掌子面不稳定时，可采用喷射混凝土或玻璃纤维锚杆、超前注浆小导管等对掌子面进行加固。

11.2 隧道洞口扩挖

11.2.1 洞口扩挖施工应符合下列规定：

- 1 施工宜避开雨季及严寒季节。
- 2 施工前应核实现状边仰坡的稳定性，对可能滑塌的表土、危石等应清除或加固。
- 3 紧邻洞口的桥、涵、路基挡护等工程的施工，应结合隧道施工场地布置，及早完成，为隧道洞口扩挖提供施工场地。

条文说明：隧道施工周期长，需要的材料、设备种类多，且均需从洞口进入，因此需要其他结构物及早完成，尽量避免交叉作业，并为隧道提供施工拼装场地。

4 洞口临近交通道路时，应采取确保道路通行安全的防护和加固措施，并应对道路沉降、边坡稳定等进行监测。

条文说明：改扩建隧道施工时，涉及到爆破及土方开挖施工，并要考虑对改扩建完成后既有道路的恢复利用，因此要做好监测保护措施。

5 洞口工程施工应采取机械开挖或微振控制爆破，邻近建筑物时应对建筑物下沉、倾斜、裂缝以及振动等情况进行监测。

条文说明：改扩建隧道施工时，区别于新建隧道施工，工点周边可能存在有

交通设施等构筑物，需要采取微振控制措施或机械开挖，防止对周边构筑物产生破坏影响。

6 修建施工便道和施工场地平整应尽量减少对原地貌的破坏和对洞口岩体稳定的影响。

11.2.2 边仰坡开挖及防护应符合下列规定：

- 1 边仰坡扩挖前应完成截排水工程，洞顶地表水的处理应满足设计要求。
- 2 洞口边仰坡工程应自上而下逐级开挖及支护，不得掏底开挖或上下重叠开挖，及时完成边仰坡加固、防护。
- 3 既有隧道洞口的边、仰坡开挖时应采取临时防护措施，防止原有防护拆除后坡体失稳。
- 4 既有隧道允许车辆通行时，应结合边仰坡开挖对行车有影响时应采取临时交通管制措施，采用机械凿除或控制爆破技术。

条文说明：隧道边仰坡施工时，由于土石方施工量较大，临空面宽阔，不容易进行防护，爆破或机械开挖工程中易造成飞石伤人等事故，因此要严格控制爆破强度，或临时进行交通管制。

11.2.3 洞口段施工应符合下列规定：

- 1 隧道洞口段扩挖应根据地质条件、对地面建筑物的影响以及保障施工安全等因素选择施工方法，宜采用中隔壁法或交叉中隔壁法施工。
- 2 进洞前应按设计要求施作超前支护、洞内围岩加固以及既有洞内回填与临时加固措施。
- 3 偏压洞口，开挖前应按设计要求先完成洞门结构、明洞及回填施工。
- 4 浅埋、偏压段应按设计要求完成反压回填或地表预加固后再进行开挖。
- 5 洞口附近有不良地质时，应先处理不良地质后再进行洞口扩建。
- 6 既有隧道明洞、洞门墙等可根据场地情况宜采用液压破碎、机械切割等方式，应先拆除顶部混凝土，然后向洞身两侧延伸。若受限则可采用爆破开挖。

条文说明：明洞拆除有充足的作业空间时，优先采用机械拆除能够使拆除作业处于可控状态，避免爆破作业对洞外邻近构筑物产生影响。

7进洞后应及时形成封闭结构，衬砌应尽早施作。

8洞口段的监控量测应适当增加量测频率。

条文说明：洞口段一般属于高风险施工段落，极易发生坍塌事故，要重点进行监测。

11.2.4 洞门施工应符合下列规定：

1 隧道洞门的截、排水设施应与洞门工程同步施工，并作好与既有截排水设施的衔接。当洞门顶部水沟置于填土上时，填土应夯填密实。

2 隧道洞门端墙和翼墙、挡护墙的反滤层、泄水孔、变形缝设置应符合设计要求，泄水孔排水应通畅。

3 洞门拱墙应与相邻拱墙衬砌同时施工，连成整体。

4 洞门宜及早完成；当既有洞门墙需部分利用时，应作好新旧混凝土施工缝处理。

11.3 隧道洞身扩挖

11.3.1 隧道洞身扩挖应按设计采用单侧扩挖或周边扩挖方式。

条文说明：计算模拟表明，单侧扩挖的影响较双侧扩挖和周边扩挖，同时，单侧扩挖与相邻隧道的净距大，施工风险小。具体选用的开挖方法需要现场结合实际情况综合考虑，其受扩挖断面大小、一次扩挖长度、周边土体稳定性等影响较大，因此要根据现场情况进行针对性选择。

11.3.2 隧道洞身扩挖作业应按照“管超前、弱爆破、短开挖、早封闭”的原则，并符合下列规定：

1 开挖作业必须保证安全，宜减少对围岩的扰动，保持围岩稳定。

2 确定合理开挖步序，同层左、右两侧工作面沿纵向应错开10m~15m，单侧开挖应采用短台阶，台阶长度3m~5m，保持各开挖工序相互衔接，均衡施工。

3 开挖循环进尺不宜大于初期支护钢架设计间距。

条文说明：按初期支护钢架间距控制开挖循环进尺长度，是为了开挖后及时进行封闭，符合早封闭的早成环原则。

4 应按设计对既有隧道进行回填与临时支撑。

5 施工前应进行钻爆设计，并根据实际爆破效果调整爆破参数。开挖爆破应选用适当的炸药品种和型号，在漏水和涌水地段应采用非电导爆管起爆。

条文说明：钻爆设计时，既要考虑既有隧道结构的衬砌参数（衬砌厚度、衬砌断面大小、配筋情况）也要考虑扩建位置的围岩情况，其爆破时区别于新建隧道工况，在改扩建断面的旁侧有一个增加的临空面，其情况与一般隧道掌子面光面爆破（周边眼、辅助眼、掏槽眼）的设计不同，需要考虑的因素较多，要根据爆破效果及时调整炮眼间距、数量、装药集度等参数。

6 既有隧道二次衬砌宜采用切割拆除、机械扩挖、静力爆破等技术。当采用爆破处理时，有钢筋的二衬可采用密眼爆破；无钢筋的二衬可采用梅花型布置钻空眼，无需爆破。

条文说明：既有隧道衬砌拆除方式较多，有：爆破方式、静力爆破方式和机械切割、水力切割、凿除等手段，爆破方式效率较高，但爆破振动对衬砌和围岩有一定影响，所以，严格控制一次起爆药量。静力爆破是近年来发展起来的一种新型爆破施工技术，是在岩体或混凝土上钻孔，在钻孔中灌装静力爆破剂，依靠其膨胀力使岩石或混凝土产生裂隙或裂缝，从而达到破碎的目的，可在无振动、无飞石，无噪音、无污染的条件下破碎或切割岩石或混凝土建（构）筑物，爆破时不会损坏周围的任何物体。

钻爆设计时，根据二衬钢筋的分布情况采用密眼爆破，爆破后可保证拆除既有衬砌的破碎程度，无钢筋地段提前留置预裂孔位置，其处于临空面外侧，掌子面爆破过程中会产生预裂破坏。

7 既有隧道衬砌结构应随开挖随拆除，不得超前拆除既有隧道衬砌结构。

8 隧道拆除应先拆除二次衬砌、后拆除初期支护。

9 初期支护拆除和扩挖可同步进行，初期支护拆除的分段长度应根据围岩地质条件确定，扩挖后应立即进行新的初期支护施工。

10 应采取有效的测量手段控制超欠挖，使开挖轮廓线圆顺，避免应力集中。

11 应及时进行监控量测，地质变化处和重要地段，应有相应照片或文字描述记载。

条文说明：隧道施工监控量测时既要考虑已改扩建完成的施工地段的稳定性，又要考虑既有隧道地段的稳定性，因此强调监控量测的及时性和追溯性。

11.3.3 单侧扩挖施工宜采用中隔壁法或交叉中隔壁法，Ⅱ、Ⅲ级围岩开挖可不设台阶，Ⅳ级围岩开挖时两侧导坑宜分步采用台阶法施工，Ⅴ级围岩地段开挖时宜设置临时仰拱；双侧扩挖时宜采用双侧壁导坑法。

11.3.4 单侧扩挖中隔壁法施工工序见图11.3.4-1、图11.3.4-2、图11.3.4-3。

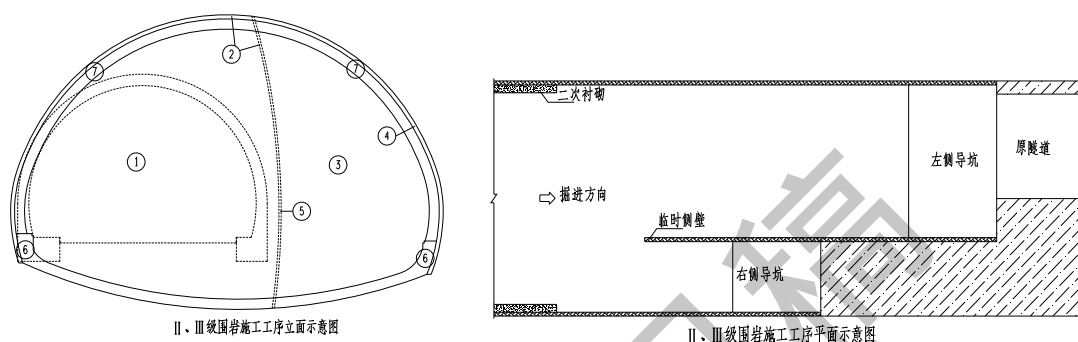


图 10.3.4-1 II、III级围岩施工工序示意图

注：1.开挖左侧导坑（包括拆除原洞）；2.施工初期支护（包括侧壁临时支护、拱墙初期支护）；3.开挖右侧导坑；4.施工右侧导坑初期支护；5.拆除侧壁临时支护（每次拆除不得大于5m）；6.施工仰拱模筑二次衬砌；7.铺设环向盲沟及防水板，整体浇注拱墙部二次衬砌。

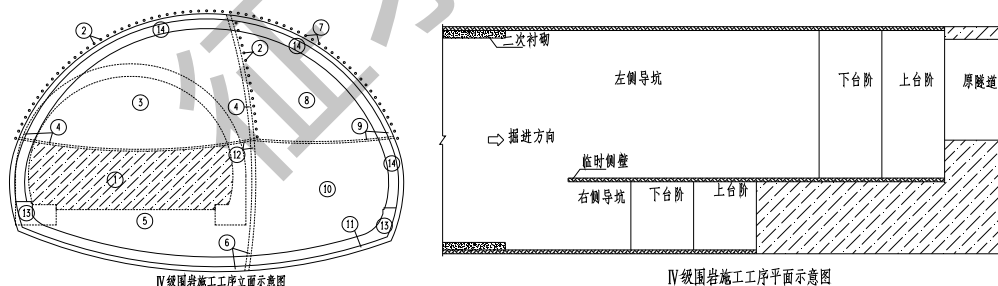


图 11.3.4-2 IV级围岩施工工序示意图

注：1.回填既有隧道至拱腰；2.左侧导坑超前支护；3.开挖左侧导坑上台阶；4.施工上台阶初期支护（包括侧壁临时支护、拱墙初期支护及临时仰拱），施工锁脚锚杆；5.开挖左侧导坑下台阶；6.施工下台阶初期支护（包括侧壁临时支护、拱墙初期支护及仰拱初期支护），施工锁脚锚杆；7.右侧导坑超前支护；8.开挖右侧导坑上台阶；9.施工上台阶初期支护（包括拱墙初期支护及临时仰拱），施工锁脚锚杆；10.开挖右侧导坑下台阶；11.施工下台阶初期支护（包括拱墙初期支护及仰拱初期支护），施工锁脚锚杆；12.拆除侧壁临时支护及临

时仰拱（每次拆除不得大于 3m）；13.施工仰拱模筑二次衬砌；14.铺设环向盲沟及防水板，整体浇注拱墙部二次衬砌。

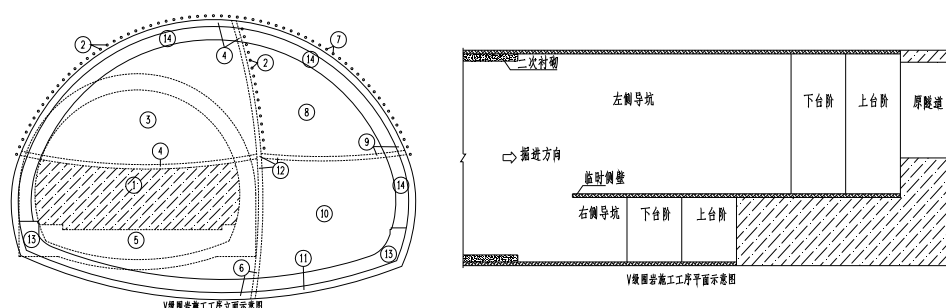


图 11.3.4-3 V 级围岩施工工序示意图

注：1.回填既有隧道至拱腰；2.左侧导坑超前支护；3.开挖左侧导坑上台阶；4.施工上台阶初期支护（包括侧壁临时支护、拱墙初期支护及临时仰拱），施工锁脚锚杆；5.开挖左侧导坑下台阶；6.施工下台阶初期支护（包括侧壁临时支护、拱墙初期支护及仰拱初期支护）；7.右侧导坑超前支护；8.开挖右侧导坑上台阶；9.施工上台阶初期支护（包括侧壁临时支护、拱墙初期支护及临时仰拱），施工锁脚锚杆；10.开挖右侧导坑下台阶；11.施工下台阶初期支护（包括侧壁临时支护、拱墙初期支护及仰拱初期支护）；12.拆除侧壁临时支护及临时仰拱（每次拆除不得大于 2m）；13.施工仰拱模筑二次衬砌；14.铺设环向盲沟及防水板，整体浇注拱墙部二次衬砌。

11.3.5 周边扩挖宜采用双侧壁导坑法，临时支撑结合既有隧道衬砌结构设置，可采用中部导坑先行法施工。

条文说明：隧道周边扩挖采用双侧壁导坑法施工时，一般为两侧导坑先行，既有隧道衬砌在中导坑开挖时同步拆除。当两侧导坑开挖与既有隧道衬砌拆除顺序有冲突时，可采用中部导坑先行法施工。

11.3.6 周边扩挖双侧壁导坑法施工工序见图11.3.6-1。

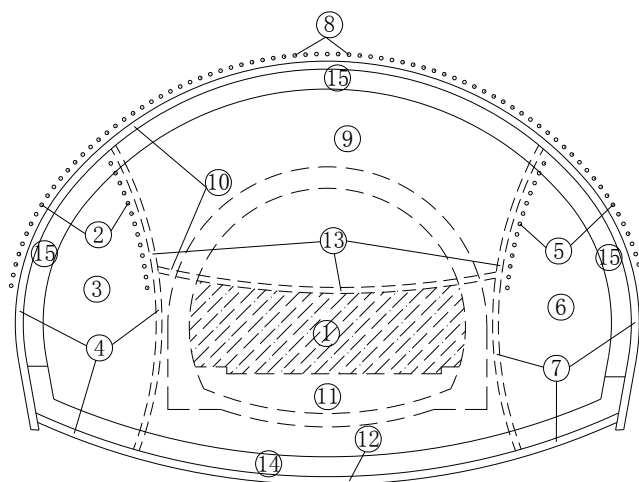


图 11.3.6-1 周边扩挖施工工序示意图

注：施工顺序 1.回填既有隧道至拱腰；2.左侧导坑超前支护；3.开挖左侧导坑；4.施工左侧导坑初期支护（包括侧壁临时支护、拱墙及仰拱初期支护）；5.右侧导坑超前支护；6.开挖右侧导坑；7.施工右侧导坑初期支护（包括侧壁临时支护、拱墙及仰拱初期支护）；8.中部导坑超前支护；9.开挖中部导坑上台阶、拆除既有隧道衬砌；10.施工中中部导坑初期支护（包括仰拱临时支护、拱部初期支护）；11.开挖中部导坑下台阶；12.施工中中部导坑仰拱初期支护；13.拆除侧壁临时支护及临时仰拱（每次拆除不得大于 2m）；14.施工仰拱模筑二次衬砌；15.铺设环向盲沟及防水板，整体浇注拱墙部二次衬砌。

11.3.7 临时侧壁拆除应符合下列规定：

1临时支撑的拆除应在初期支护封闭成环，并通过监控量测确认稳定后进行，一次拆除长度应视围岩情况确定，一般情况下Ⅱ、Ⅲ级不大于5m，Ⅳ级不大于3m，Ⅴ级不大于2m。

2拆除临时支撑过程应加强监控量测，出现异常时应停止拆除并及时加固。

条文说明：考虑地质情况复杂多变，而临时支撑对开挖断面的稳定性至关重要，因此强调要求加强监控量测控制。

11.3.8 隧道扩挖施工应控制对既有横通道的破坏，并做好新建交叉口与既有横通道衔接。

11.4 爆破施工

11.4.1 应根据扩挖段围岩地质条件、开挖断面、开挖方法、爆破材料以及

二衬拆除方法等因素编制详细的钻爆设计。

条文说明：改扩建隧道断面较大，隧道的爆破关系到利用既有隧道的稳定，且改扩建隧道有二衬拆除等复杂因素，故要求编制详细的钻爆设计。

11.4.2 爆破应采用光面爆破、微震爆破、预裂爆破等控制爆破技术，钻爆设计应包括下列内容：

- 1 炮眼(掏槽眼、辅助眼、周边眼)布置图（数目、深度和角度）
- 2 装药量和装药结构图
- 3 起爆方法和爆破顺序
- 4 钻爆参数表
- 5 爆破有害效应的控制方法
- 6 主要技术经济指标

11.4.3 爆破施工应严格执行有关爆破安全规程，并须通过爆破振动监测等监控手段严格控制爆破振动对隧道围岩的不利影响，施工中还应根据监测结果与爆破效果及时优化钻爆设计。

11.4.4 当既有隧道对振动特别敏感时，可采用数码电子雷管微差控制爆破技术或其他非火工品开挖技术。

11.4.5 根据开挖进尺长度应在既有二次衬砌设置环向预切缝，缝深不小于原二衬厚度。对当前循环进尺长度内的二次衬砌需进行预裂钻孔，孔距不宜大于80cm，孔深不小于原二衬厚度。

11.5 机械开挖

11.5.1 应根据隧道结构特点、围岩特性和掌子面稳定情况、断面大小、开挖和支护出渣效率、动力提供条件和工期要求、场地条件及经济性等因素，选择合适的机械、开挖方法、开挖参数。

11.5.2 机械开挖宜选用挖掘机、单臂掘进机、铰挖机、压裂劈裂机等进行开挖。

11.5.3 开挖后应及时施作初期支护。

11.6 既有隧道衬砌拆除施工

11.6.1 既有隧道衬砌拆除可采用混凝土线锯、液压劈裂等非爆破方式拆除方式或采用化学药剂的静态爆破。

条文说明：考虑到邻近既有构筑物时，采用线锯、液压劈裂等方式可有效减少对周边构筑物的振动影响。

11.6.2 对围岩不良地质及存在空洞地段，应采用物探法进行检测，并进行钻探验证，确认二衬背后地质状况。

条文说明：考虑既有隧道施工时间较长，其背后可能存在空洞、拱顶坍塌堆积体、泥沙流塑层等不良地质，如果不进行验证直接破除，可能出现风险事件，因此在此处强调在拆除前需要对既有隧道二衬背后的情况进行探明验证。

11.6.3 拆除前应对既有隧道衬砌背后存在的不良地质或空洞情况进行预加固处理，应结合围岩松散、富水、空洞分布采取注浆加固、泵送回填混凝土、打设管棚等措施。

条文说明：针对不同的不良地质，采取不同的加固处理方法，充分发挥围岩自稳性后再进行拆除作业，避免施工作业风险。

11.6.4 洞身段衬砌拆除时，应按设计进尺要求，宜采用浅孔光面爆破、静态爆破等。拆除时应核对围岩地质情况，如与勘察资料不符，及时与设计单位反馈地质情况，调整支护参数。

条文说明：洞身拆除时采用控制爆破技术，充分发挥其临时支撑作用，防止一次爆破长度过大，造成周边围岩出现变形超标或破坏。

11.6.5 拆除完成后，应及时进行支护。

11.7 支护及衬砌

11.7.1 扩挖隧道支护与衬砌施工应满足现行《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660)的要求。

11.7.2 增建紧急停车带、扩挖影响横通道交叉口段应做好新旧混凝土接缝处理与顺接。

征求意见稿

12 增建隧道施工

12.1 一般规定

12.1.1 应根据增建隧道与既有隧道间净距及地质条件，选择合适的施工方案，将增建隧道对既有隧道的影响控制在最小范围。

12.1.2 增建隧道施工应结合地形、工程地质与水文地质条件、中夹岩厚度、埋深等制定专项施工方案，应包括下列内容：

- 1 既有隧道基础资料、检测结果等。
- 2 增建隧道开挖支护施工工序及工艺，小净距隧道近接施工技术要求。
- 3 既有隧道和增建隧道监控量测、增建隧道超前地质预报方案。
- 4 增建隧道爆破设计和爆破振动监测与控制。
- 5 既有隧道的保护、中夹岩加固施工方案。
- 6 其他内容。

12.1.3 增建小净距隧道，应考虑既有隧道的保护，软弱围岩开挖宜采用机械开挖，机械开挖实施难度大时，可采用微振控制爆破。

12.1.4 增建隧道应根据监控量测结果，尽早施作初期支护、及时浇筑仰拱，控制围岩变形。

12.1.5 增建隧道施工期间保持通车的既有隧道，应采取安全防护措施。不得利用既有隧道进行施工通风。

12.2 既有隧道保护

12.2.1 施工前应结合检测、监测、养护资料对既有隧道进行现场核查。

12.2.2 应根据围岩地质条件、开挖断面尺寸、开挖方法、爆破材料等编制详细的钻爆设计。

条文说明：新增隧道断面较大，隧道的爆破关系到利用既有隧道的稳定，因此提出编制钻爆设计的要求，严格控制增建隧道爆破施工对既有隧道结构安全的

影响。

12.2.3 增建隧道开挖应采用光面爆破、微震爆破、预裂爆破等控制爆破技术，控制爆破具体参数及工艺结合《爆破安全规程》(GB 6722)及现场实际调研情况确定。

12.2.4 增建隧道爆破施工应严格执行有关爆破安全规程，应通过爆破振动监测严格控制爆破振动对既有隧道的影响，施工中应根据爆破振动监测结果与钻爆效果进行调整，以确保安全。

12.2.5 小净距增建隧道需在既有隧道加固完成后再施工，并应设置相应的监测点，在施工前、施工中及施工完成后进行相应的监测、检测工作。

12.3 近接施工要求

12.3.1 增建小净距隧道施工爆破应避免对中夹岩的振动破坏，掏槽孔布置位置宜远离中夹岩，应控制单段最大爆破药量，适当增大相邻爆破分段起爆间隔时间。

12.3.2 中夹岩加固注浆应严格控制注浆参数并进行注浆效果检查。

12.3.3 增建隧道爆破时，应符合现行《爆破安全规程》（GB 6722）规定，采取措施控制爆破振动速度，避免影响既有隧道结构和运营安全。

12.4 横通道扩挖

12.4.1 当增建隧道与既有隧道间增建横洞时，应在既有隧道相应位置处设置临时防护。

12.4.2 既有隧道与增建隧道之间增设横通道宜从增建隧道向既有隧道施工，当开挖至既有隧道侧5m范围内时，可考虑采用机械切割、静态爆破等开挖方式，严禁反向出洞。

12.4.3 应作好新建支护、混凝土衬砌、防排水设施与既有隧道的衔接。

13 监控量测及预报

13.1 一般规定

13.1.1 应结合隧道改扩建方式制定监控量测和施工前地质预报方案，并作为工序列入现场施工组织管理，施工过程中应及时整理分析相关成果，完善设计方案并指导施工。改扩建隧道施工前地质预报应该在既有隧道内或隧道洞口和地表在施工前完成。

条文说明：由于在隧道工程中存在地质条件以及既有隧道施工质量的不确定性，为了使隧道支护设计更符合实际、防止地质灾害或质量缺陷灾害造成人员伤亡和经济损失，需要在施工过程中开展监控量测与超前地质预报工作。监控量测、超前地质预报、信息化设计和施工是一有机整体，涉及建设、勘察、设计、施工、监理等单位，参建各方明确责任、协调一致、相互配合，确保做到信息传递顺畅、反馈及时、决策迅速、处理得当。

13.1.2 改扩建隧道的监控量测和施工前地质预报应充分利用既有隧道的勘察设计成果、施工全过程资料，充分利用既有隧道为综合勘测方法提供的操作空间，制定具体实施方案。

条文说明：既有隧道的勘察、设计、变更和竣工资料能够有效地反应隧址区的真实地质情况，应充分分析和利用既有隧道的现状情况，结合改扩建及增建隧道与既有隧道的空间关系，有指导性的提出改扩建隧道的监控量测和超前地质预报方案。

13.1.3 监控量测方案的制定应考虑改扩建施工对周边建（构）筑物的影响，并根据现场实际情况及时调整。

13.2 方法与要求

13.2.1 隧道施工前地质预报可采用地质调查法、物探法、超前钻探法等。在实施过程中可采用一种或多种方法相结合，并对各种方法预报结果综合分析，相互验证，提高预报准确性。

13.2.2 应将实际开挖的地质情况与预报结果进行对比分析，及时总结经验，

指导和改进超前地质预报工作。

条文说明：施工过程中应将实际开挖的地质情况与预报结果进行对比分析，及时总结经验教训，指导和改进地质预报工作；超前地质预报方案应根据实际地质情况及时进行调整，并按有关程序经批准后执行。

13.2.3 施工前地质预报获得的地质信息，应结合监控量测信息进行综合分析，并及时向相关各方提交书面报告，内容应包括：工作概况、采用的预报方案及预报结果、相互印证情况、综合分析预报结论、灾害警报、施工方法和施工措施建议等。

条文说明：施工前地质预报书面报告不限于以下内容：（1）工作概况：工程概况、地质概况、人力和装备投入、主要结论、问题和建议等；（2）预报方案及预报结果：设计预报方案和根据实际地质情况调整后的预报实施方案、统计各预报方法实际工作量，并与超前地质预报设计工作量进行对比，分析增减的原因；（3）相互印证情况：预报与设计、施工验证对比情况，包括预报准确率统计结果，对预报绩效进行评价；（4）综合分析预报结论；（5）灾害警报：重大工程地质问题及其建议处理措施、注意的事项等；（6）其他需要说明的问题；（7）附图和附件。

13.2.4 施工前地质预报的结果发现异常情况时应及时通知相关各方，并采取应急处理措施。

13.2.5 监测量测项目分为必测项目和选测项目。

13.2.6 必测项目一般包括洞内外观察及变形和振动量测，并符合下列规定：

- 1 洞内外观察，开挖及初期支护后采用目视、地质罗盘等工具进行。
- 2 周边位移，根据开挖后时间不同采用收敛计测量，每5-50m一个断面，测点根据开挖方法布置。
- 3 拱顶下沉，根据开挖后时间不同采用水准仪、全站仪等测量，每5-50m一个断面。
- 4 地表下沉，根据与开挖面距离不同采用不同频率，采用水准仪、全站仪等工具，在洞口段、浅埋段布置测点。
- 5 既有隧道振动监测，通过爆破振动记录仪自动记录既有隧道不同段落范围

的爆破振动速度和加速度。

6 既有隧道巡查, 施工期间应由专人进行既有隧道的巡查, 每天不宜少于一次, 并应记录开裂、变位、漏水和设备脱落等异常(异响)情况, 特殊情况应增加巡查次数。

7 既有隧道衬砌表面应变监测, 宜采用振弦式、光纤光栅传感器, 实现自动监测。

条文说明: 从理论上讲, 凡是能够反映围岩与支护力学形态变化的物理量, 都可以作为被测物理量。但是, 被测物理量要尽量反映围岩与支护力学形态变化, 同时要求量测方法在技术、经济上又简单、可行。围岩变形乃是围岩力学形态变化最直观的表现, 变形量测具有量测结果直观、测试数据可靠、量测仪表长期稳定性好、抗外界干扰性强等优点, 同时测试费用低廉。因此在选用测试项目时将位移量测作为首选量测项目。

必测项目是为了在设计、施工中确保围岩的稳定, 并通过判断围岩的稳定性来指导设计、施工的经常性量测。这类量测通常测试方法简单, 可靠性高, 费用少, 而且对监视围岩稳定、指导设计与施工具有巨大的作用。量测要求详见《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JGJ 3370.1) 等。

13.2.7 近接施工隧道监控量测应符合下列规定:

- 1 建(构)筑物监测应包括沉降监测、倾斜监测、裂缝监测及振动监测等。
- 2 增建隧道开挖时, 宜根据增建隧道掌子面位置对既有隧道相应断面前后1倍隧道单洞开挖宽度范围内进行重点监控量测, 包括爆破振动、中夹岩变形、既有隧道裂缝、结构变形等监测。

13.2.8 选测项目包括围岩深部位移、围岩压力、支护结构内力、水量等,

条文说明: 选测项目是对一些具有特殊意义和代表性意义的区段进行补充测试, 以求更深入地掌握围岩的稳定状态与锚喷支护的效果, 更好地指导未开挖区段的设计与施工。这类量测项目测试较为麻烦, 量测项目较多, 花费较大, 一般只根据需求选择其部分项目。量测要求详见《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660) 等。

13.2.9 增建隧道的变形量控制常规条件下可参照新建分离式或小净距隧道

要求执行。原位扩挖隧道变形量可根据既有隧道施工情况，结合开挖施工步序计算分析后确定。

13.2.10 既有隧道距增建隧道净距较小时，其衬砌表面振速不宜大于10cm/s，净距较大时不宜大于15cm/s。当既有隧道健康状况较差时，考虑适当提高控制标准，具体应结合爆破振动测试和既有隧道衬砌应力应变的监测结果分析确定。

条文说明：爆破振动控制基准可按表13.2.10-1控制，并满足下列要求：

(1) 选取建筑物安全允许振速时，应综合考虑建筑物的重要性、建筑质量、新旧程度、自振频率、地基条件等因素。

(2) 省级以上（含省级）重点保护古建筑与古迹的安全允许振速，应由专家论证选取，并报相应文物管理部门批准。

(3) 选取隧道、巷道安全允许振速时，应综合考虑构筑物的的重要性、围岩状况、断面大小、深埋大小、爆源方向、地震振动频率等因素。

(4) 非挡水新浇大体积混凝土的安全允许振速，可按表13.2.10-1给出的上限值选取。

表 13.2.10-1 爆破振动安全允许标准

序号	保护对象类别	安全允许振速 (cm/s)		
		<10Hz	10Hz-15Hz	50Hz-100Hz
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.5-1.0	0.7-1.2	1.1-1.5
2	一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物	2.0-2.5	2.3-2.8	2.7-3.0
3	钢筋混凝土结构房屋	0-4.0	3.5-4.5	4.2-5.0
4	一般古建筑与古迹	0.1-0.3	0.2-0.4	0.3-0.5
5	水工隧道	7-15		
6	交通隧道	10-20		
7	矿山巷道	15-30		
8	水电站及发电厂中心控制室设备	0.5		
9	新浇大体积混凝土：			
	龄期：初凝-3d	2.0-3.0		
	龄期：3d-7d	3.0-7.0		
	龄期：7d-28d	7.0-12		

注：1表列频率为主振频率，系指最大振幅所对应波的频率。

2频率范围可根据类似工程或现场实测波形选取。选取频率时亦可参考下列数据：明室爆破<20H；深孔爆破10H-60Hz；浅孔爆破40H-100Hz。

3有特殊要求的根据现场具体情况确定。

13.3 信息反馈

13.3.1 量测数据应及时进行整理和分析，并绘制量测数据时态曲线和距开挖面距离图；应绘制地表下沉值沿隧道纵向和横向变化量和变化速率曲线图。

条文说明：监控量测数据分析一般采用散点图和回归分析方法。首先根据监控量测数据绘制时态曲线,包括时间—位移散点图和距离—位移散点图。然后根据散点图的数据分布状况,选择合适的函数进行回归分析,对最大值(最终值)进行预测,并与控制基准值进行比较。

13.3.2 根据监测量测信息，对支护及围岩状态、工法、工序进行评价，形成工程安全性评价，并提出相应工程对策建议。

条文说明：根据由监控量测数据分析整理的时态曲线，结合施工工况综合分析围岩和支护结构的工作状态，如果位移曲线正常，说明围岩处于稳定状态，支护系统是有效、可靠的；如果位移曲线出现反弯点，表明围岩和支护已呈不稳定状态，需采取相应工程措施。

13.3.3 围岩稳定性、二次衬砌时间应根据测量回归最终位移量、位移速率及其变化趋势、断面大小、临时支撑拆除时间等综合分析。

13.3.4 增建隧道建设期间应及时分析、整理既有隧道的监测成果，评判既有隧道的健康情况。

14 交通组织与保通设计

14.1 一般规定

14.1.1 隧道改扩建交通组织与保通设计，应遵循保障安全、通行有序、保护环境、减少社会影响的原则，协调好运营与施工的关系。

14.1.2 交通组织和保通设计应在方案研究成果的基础上与主体工程设计同步进行，并应进行动态设计。

条文说明：交通组织和保通作为公路改扩建工程必要的工作，贯穿整个工程建设的前期方案、设计、实施各个阶段，需要与主体工程设计阶段相配合，同步设计，并根据工程实际动态调整，确保设计方案的可行性。

14.1.3 应结合隧道改扩建形式，并应考虑影响区域路网状况、工程施工方案、施工工期等因素，综合考虑确定施工交通组织。

14.1.2 隧道改扩建施工需利用既有隧道保通时，应进行专门的保通设计。

14.1.3 高速公路进行交通组织保障措施、临时交通工程及沿线设施设计时，设计速度不宜低于60km/h。

14.1.3 隧道改扩建施工中应尽量利用现有道路，减少新建施工便道的长度。

14.1.4 施工期间应严格按照规范要求制作和设置道路交通信号标志、安全警示警告标志，并设专人维护、疏导交通，确保交通安全。

14.1.6 夜间施工时，应考虑增设夜间照明、频闪灯、LED灯串等专用设施。

14.2 增建隧道交通组织设计

14.2.1 增建隧道施工期间，宜保持既有隧道交通形式不变，若增建隧道施工对既有隧道洞外交通有影响，则需根据实际情况设置交通诱导、限速措施。

14.2.2 利用既有隧道保通时，宜选择在交通流量小时分时段进行加固施工，并考虑临时进行交通管制。

14.2.3 从增建隧道向既有隧道侧开挖横通道至既有隧道侧5m范围内时，应

在既有隧道侧临时交通管制。

14.2.4 当增建隧道施工对既有隧道通行能力造成影响时，可通过控制大型车辆通行比例的方法进行缓解。

14.2.5 施工期间应加强对新建便道的交通管制，设置警告、警示、指示、限行、限速等必要的安全、警示标志。

14.3 扩建隧道交通组织设计

14.3.1 既有隧道为单洞，扩建时需中断交通，通行车辆需提前绕行，并符合下列规定：

- 1 相关交通组织方案应提前与路政、交警等部门沟通，确保绕行方案的可行性。
- 2 应提前做好封闭施工路段的施工组织计划，加强施工人力、机械、设备组合，尽量压缩封闭周期。
- 3 应在关键路口设立指路标牌，并设专人指挥车辆通行，防止车辆误入施工区域。
- 4 应在扩挖侧保留有效的紧急通车、会车路面，确保在遇到紧急情况时，紧急救援车辆能快速进场。

14.3.2 既有隧道为双洞，扩建时可采用一侧扩挖，一侧双向通行的行车方案，并符合下列规定：

- 1 应做好通行车辆的分流、限速，增加交通诱导设施等一系列措施。
- 2 应在应急路段安排专人指挥交通，同时对险要地段进行必要修复，并设专人指挥车辆通行。
- 3 施工方应积极配合交管部门疏导交通，及时向交管部门传达施工信息，严格做到不超范围占道施工。
- 4 通行隧道应采取防衬砌掉块、风机、灯具等脱落的临时加固措施。

14.4 既有隧道交通组织设计

14.4.1 既有隧道侧增建隧道，既有隧道交通组织不变，但需注意增建隧道施工对交通的影响。

14.4.2 既有单洞隧道原位扩建，应封闭绕行。

14.4.3 既有双洞隧道原位扩建时，可分洞控制通行，并符合下列规定：

- 1 当有绕行条件时，可考虑单向交通绕行，一侧隧道正常通车，另一侧隧道实施扩挖施工，同时做好车辆交通诱导工作。
- 2 当无绕行条件时，未扩挖隧道考虑单洞双向行车，隧道内应设置隔离栅、锥筒等交通安全设施，同时应严格控制通行路段车辆的时速、通过车辆。

14.5 应急预案及保障措施

14.5.1 对改扩建过程中有通车要求的既有隧道，应针对通车隧道内发生交通事故、衬砌掉块等影响交通安全的结构损坏以及突发地质灾害等制定相应的应急预案。

14.5.2 对于既有双洞隧道，当采用单洞扩挖，另一单洞维持双向通车时应符合下列规定：

- 1 在施工过程中应在扩挖侧隧道内保留有效的紧急通车、会车通道，作为临时疏散通道和紧急救援车辆进场通道。
- 2 当隧道中发生较严重的交通事故时，应立即封闭隧道，对隧道外部的道路进行分流和限流。对事故区附近的车辆进行合理的交通诱导和疏散撤离。同时立即组织救援车辆进场，尽快处理交通事故，恢复交通。
- 3 当隧道内发生衬砌掉块、突涌水等影响行车安全的灾害时，应立即封闭隧道，做好车辆的分流绕行，做好信息发布工作。对出现的灾害及时处理，尽快恢复交通。

14.5.3 既有双洞隧道在两侧增建隧道，既有隧道交通形式不变时应符合下列规定：

- 1 当隧道内发生交通事故时，应根据横洞位置对隧道进行分区，然后针对不同事故级别及事故发生位置来确定各区的具体诱导及控制策略。同时尽快处理交通事故，恢复交通。
- 2 当隧道内发生结构损坏以及突发灾害时，应立即封闭隧道，对隧道外部的道路进行分流和限流。同时做好事故区车辆的交通诱导和疏散撤离工作。当灾害短期内无法解决时，可考虑另一侧双向通车。

14.5.4 既有单洞隧道在一侧增建隧道，既有隧道交通形式不变时，可按照双洞隧道一侧扩挖、一侧双向通车的情况进行应急处理。

14.5.5 对事故区车辆的疏散应遵循“由远及近”的原则，即先控制即将驶入事故区的车辆，再对事故区附近的车辆进行合理的交通诱导和疏散撤离。

14.5.6 当遇到恶劣天气时，应及时和气象部门联系，掌握天气变化情况，根据不同的天气情况制定相应的应对措施，并符合下列规定：

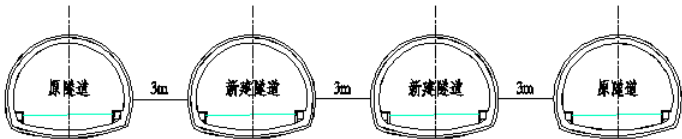
1 当有暴雨预警时，应及时做好救援准备，加强对各洞口边仰坡及冲沟汇水情况观察，在各积水点来车方向设置导向标志、警示牌等设施，提醒过往车辆绕行。

2 下雪期间要加强交通管制，根据不同的雪情，应及时清除积雪防止路面积雪被压实或被冻结在路路面上。

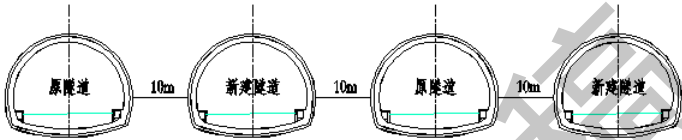
3 冰、雪天气路滑难行时，应在各坡道来车方向设置导向标志、警示牌等设施，提醒过往车辆绕行，减少道路交通事故的发生，避免严重交通拥阻现象的出现。同时出动清障车、配备拖车绳，保证能够对事故、打滑车辆实施拖移。

附录A 隧道典型改扩建方式

A.0.1增建隧道横向布置方式



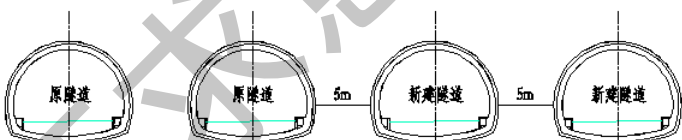
方案一 原两隧道之间增设两个两车道隧道



方案二 原两隧道间增设一个两车道隧道，一侧再增设一个两车道隧道

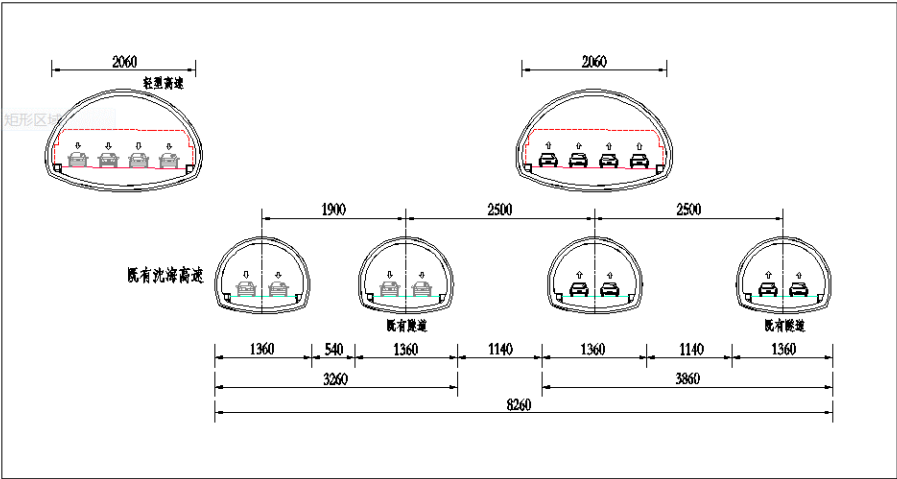


方案三 原两隧道两侧边各增设一个两车道隧道



方案四 原隧道一侧新建两个两车道隧道

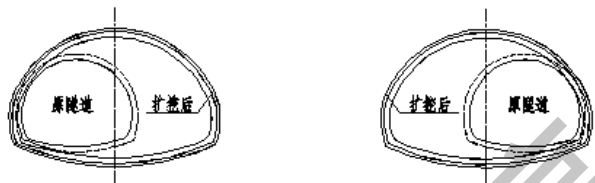
A.0.2增建隧道叠层布置方式



A.0.3原位扩建单侧扩挖方式



方法一 外侧扩宽



方法二 内侧扩宽

A.0.4原位扩建周边扩挖方式



方法三 两侧扩宽

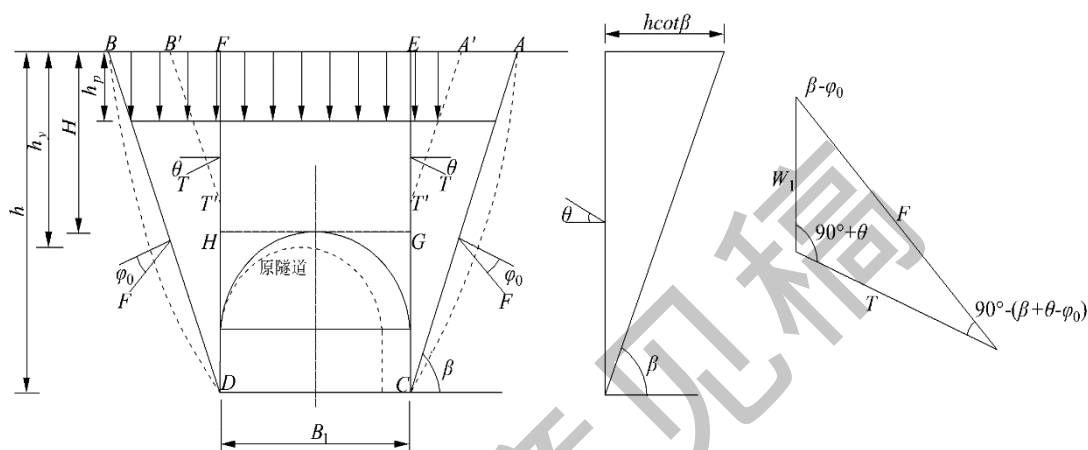
附录B 既有隧道技术状况检测及评定记录表

既有隧道技术状况检测及评定记录表

隧道情况		隧道名称		路线名称		隧道长度		建成时间	
几何线形 (现场实测 指标)		隧道平面				与原设计 不一致段 落及指标 差异			
		隧道纵断面							
		隧道横断面							
		隧道内轮廓							
既有隧道土建结构技术状况评定									
洞门、洞口技术状况评定		洞口	进口				洞门	进口	
			出口					出口	
编号	里程	评定指标							
		衬砌破损	渗漏水	路面	检修道	排水设施	吊顶	内装饰	标志标线
1									
2									
...									
既有隧道机电及其他设施技术状况评定									
编号	里程	评定指标							
		供配电设施	照明设施	通风设施	消防设施	监控与通信设施	设备洞室	洞口联络通道	洞口绿化及房屋
1									
2									
...									
既有隧道土建结构技术状况检测									
编号	里程	检测项目							
		衬砌厚度	衬砌强度	衬砌脱空情况	钢筋锈蚀检测	仰拱厚度	裂缝检测	漏水检测	荷载检测
土建结构评定结论									
评定人					负责人				

附录C 浅埋条件下扩挖隧道围岩压力计算方法

C.0.1 为便于计算，假定扩挖大断面隧道两侧岩土体形成的破裂面（ AC 或 BD ）是一条与水平成 β 角的斜直线，既有隧道为扩挖隧道内的虚线，既有隧道埋深为 h_y ，扩挖后隧道埋深为 H ，如图C.0.1-1所示。



图C.0.1-1 浅埋扩挖大断面隧道围岩压力示意图

1) 垂直压力

作用在支护结构上的均布荷载见图C.0.1-2，即：

$$q = \gamma H \left(1 - \frac{H}{B_1} \lambda \tan \theta \right) \quad (\text{C.0.1-1})$$

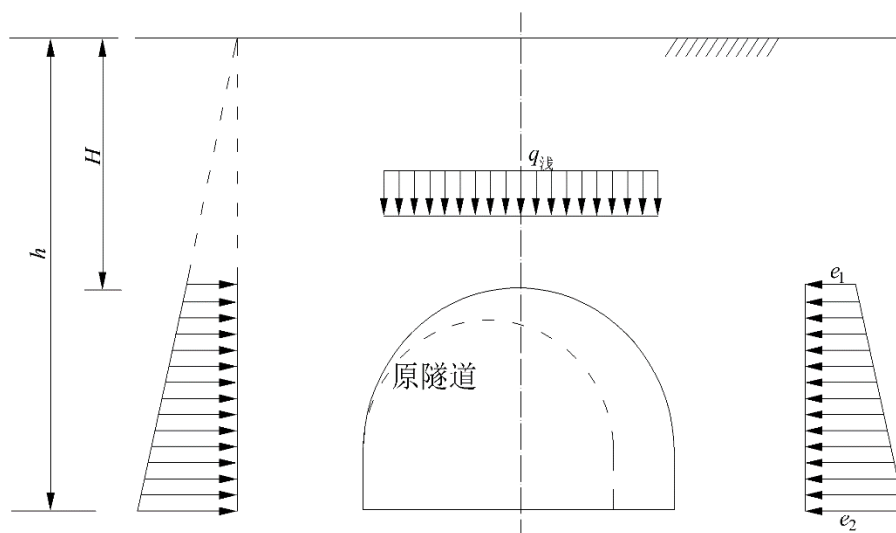
式中： q —作用在支护结构上的均布荷载（ kN/m^2 ）；

λ —侧压力系数；

H —扩挖隧道埋深，指隧道顶至地面的距离（ m ）；

B_1 —扩挖大断面隧道宽度（ m ）；

θ —滑面的摩擦角（ $^\circ$ ），无实测资料时可参考《公路隧道设计规范第一册 土建工程》（JTG3370.1-2018）中表D.0.2。



图C.0.1-2 均布荷载示意图

2) 水平侧压力

$$e_1 = \lambda \gamma H \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$e_2 = \lambda \gamma h \quad (\text{C.0.1-3})$$

当水平侧压力视为均布压力时:

$$e = \frac{1}{2}(e_1 + e_2) \quad (\text{C.0.1-4})$$

附录D 浅埋条件下扩挖连拱隧道围岩压力计算方法

D.0.1 超浅埋扩挖连拱隧道围岩压力

当扩挖连拱隧道埋深 H 小于或等于等效荷载高度 h_q 时，为超浅埋连拱隧道。

1) 垂直压力

$$q = \gamma H \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$q_z = \gamma(H_1 - H) \quad (\text{D.0.1-2})$$

式中： q —扩挖连拱隧道垂直均布压力（ kN/m^2 ）；

q_z —扩挖连拱隧道中隔墙与两侧拱肩所夹三角形荷载最大值（ kN/m^2 ）；

γ —围岩重度（ kN/m^3 ）；

H_1 —扩挖连拱隧道中隔墙顶到地面的距离（ m ）；

H —扩挖连拱隧道埋深，指隧道顶部至地面的距离（ m ）。

2) 水平侧压力

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \lambda \gamma H \\ e_2 &= \lambda \gamma (H + h) \end{aligned} \right\} \quad (\text{D.0.1-3})$$

式中： e_1 、 e_2 —扩挖连拱隧道拱顶与底部的水平侧压力；

γ —围岩重度（ kN/m^3 ）；

H —扩挖连拱隧道埋深，指隧道顶部至地面的距离（ m ）；

h —扩挖连拱隧道开挖高度（ m ）。

作用在扩挖连拱隧道中隔墙两侧衬砌上的水平侧压力为：

$$\left. \begin{aligned} e'_1 &= \lambda q \\ e'_2 &= \lambda (q + q_z) \end{aligned} \right\} \quad (\text{D.0.1-4})$$

式中： e'_1 、 e'_2 —扩挖连拱隧道中隔墙两侧衬砌上的水平侧压力；

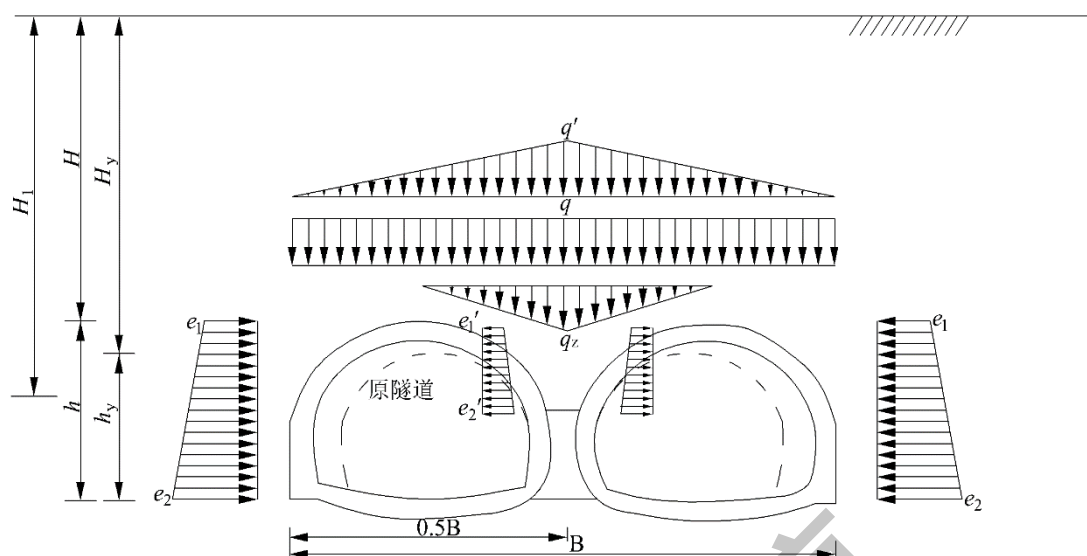
q —扩挖连拱隧道垂直均布压力（ kN/m^2 ）；

q_z —扩挖连拱隧道中隔墙与两侧拱肩所夹三角形荷载最大值（ kN/m^2 ）；

λ —水平侧压力系数，参考《公路隧道设计规范第一册土建工程》

（JTJ3370.1-2018）中附录D浅埋隧道荷载计算方法。

符号意义见图D.0.1-1。



图D.0.1-1 超浅埋连拱隧道荷载分布示意图

D.0.2 浅埋扩挖连拱隧道围岩压力

当浅埋扩挖连拱隧道埋深大于 h_q 、小于或等于 H_p 时，为一般浅埋连拱隧道。

1) 垂直压力

$$q = \gamma H \left(1 - \frac{H}{B'} \lambda \tan \theta\right) \quad (\text{D.0.2-1})$$

式中： q —扩挖连拱隧道垂直压力（ kN/m^2 ）；

γ —扩挖连拱隧道上覆围岩重度（ kN/m^3 ）；

H —扩挖连拱隧道埋深，指隧道顶部至地面的距离（ m ）；

B' —扩挖连拱隧道有效宽度（ m ）；

θ —滑面的摩擦角（ $^\circ$ ）。

中隔墙与扩挖连拱隧道两侧拱肩所夹三角形荷载最大值为：

$$q_z = \gamma(H_1 - H) \quad (\text{D.0.2-2})$$

2) 水平侧压力

扩挖连拱隧道两侧水平侧压力为：

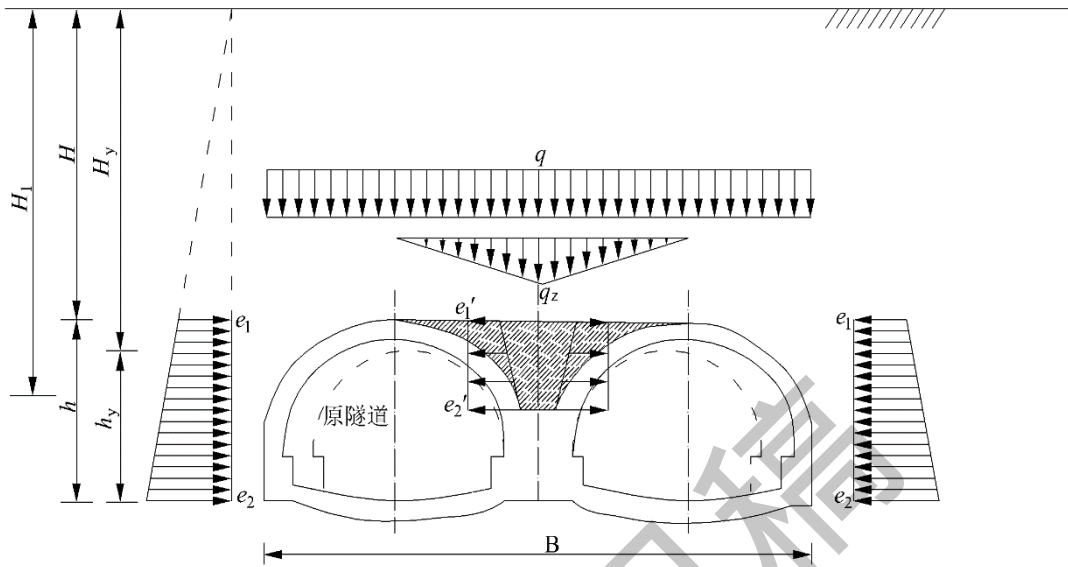
$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \lambda q \\ e_2 &= \lambda(q + \gamma h) \end{aligned} \right\} \quad (\text{D.0.2-3})$$

式中： h —扩挖连拱隧道开挖高度（ m ）；

作用在扩挖连拱隧道衬砌上的中隔墙两侧水平侧压力为：

$$\left. \begin{aligned} e'_1 &= \lambda q \\ e'_2 &= \lambda(q + q_z) \end{aligned} \right\} \quad (\text{D.0.2-4})$$

式中： λ —侧压力系数。



图D.0.2-1 一般浅埋连拱隧道荷载分布示意图

附录E 偏压条件下扩挖连拱隧道围岩压力计算方法

1 垂直压力

假定偏压分布图形与地面坡一致，则作用的垂直压力为：

$$Q = \frac{\gamma}{2} [(h + h')B' - (\lambda h^2 + \lambda' h'^2) \tan \theta] \quad (\text{E.0.1-1})$$

$$q_z = \gamma(H_1 - H) \quad (\text{E.0.1-2})$$

式中： h 、 h' —扩挖连拱隧道内、外侧由拱顶水平至地面的高度（m）；

q_z —扩挖连拱隧道中隔墙与两侧拱肩所夹三角形荷载最大值（kN/m²）；

B' —扩挖连拱隧道有效宽度（m）；

γ —扩挖连拱隧道上覆围岩重度（kN/m³）；

θ —顶板土柱两侧摩擦角（°），可按表6.3-1确定；

λ 、 λ' —扩挖连拱隧道内、外侧的侧压力系数，同单洞偏压隧道。

2 水平侧压力

$$\text{内侧：} \quad e_i = \lambda \gamma h_i \quad (\text{E.0.1-3})$$

$$\text{外侧：} \quad e'_i = \lambda' \gamma h'_i \quad (\text{E.0.1-4})$$

式中： h_i 、 h'_i —扩挖连拱隧道内、外侧任一点*i*至地面的距离（m）；

e_i 、 e'_i —扩挖连拱隧道内、外侧偏压隧道水平侧压力（kN/m²）；

γ —围岩重度（kN/m³）。

作用在偏压扩挖连拱隧道衬砌上的中隔墙两侧水平围岩压力为：

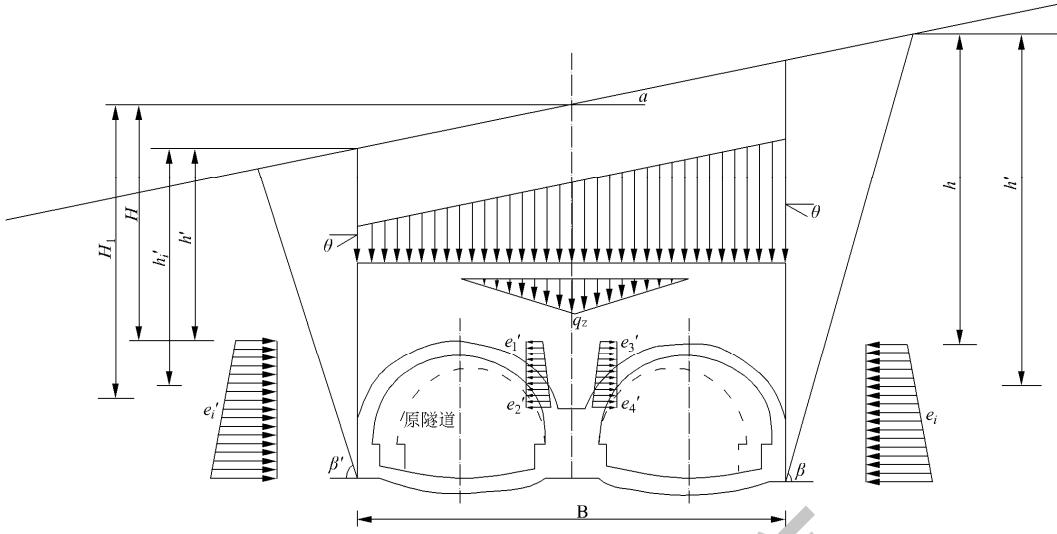
$$\left. \begin{aligned} e'_1 &= \lambda \gamma H \\ e'_2 &= \lambda \gamma H_1 \end{aligned} \right\} \quad (\text{E.0.1-5})$$

$$\left. \begin{aligned} e'_3 &= \lambda' \gamma H \\ e'_4 &= \lambda' \gamma H_1 \end{aligned} \right\} \quad (\text{E.0.1-6})$$

式中： λ 、 λ' —扩挖连拱隧道内、外侧的侧压力系数，同单洞偏压隧道；

H —扩挖连拱隧道中隔墙中心处拱顶水平线至地面的距离；

H_1 —扩挖连拱隧道中隔墙顶至地面的距离。



图E.0.1-1 偏压扩挖连拱隧道荷载示意图

附录F 增建深埋小净距隧道围岩压力计算方法

1 垂直压力

一侧和两侧增建深埋小净距隧道垂直压力由基本松散压力 q_1 和附加松散压力 q_2 、 q'_2 组成，见图6.2-1，增建深埋小净距隧道内外侧垂直压力按式（F.0.1-1）、（F.0.1-2）计算。

$$\text{外侧: } q_{\text{外}} = q_1 + q_2 = \gamma(h_{q1} + h_{q2}) \quad (\text{F.0.1-1})$$

$$\text{内侧: } q_{\text{内}} = q_1 + q'_2 = \gamma(h_{q1} + h'_{q2}) \quad (\text{F.0.1-2})$$

式中： h_{q1} —深埋小净距隧道基本围岩垂直压力的荷载等效高度（m）；

h_{q2} —深埋小净距隧道外侧附加围岩垂直压力的荷载等效高度（m）；

h'_{q2} —深埋小净距隧道内侧附加围岩垂直压力的荷载等效高度（m）；

γ —围岩重度（kN/m³）。

增建深埋小净距隧道形成的平衡拱一般介于以下两种极限状态之间：

状态一：增建小净距隧道中岩墙承载能力较小时，左右洞室的平衡拱范围扩大，在左右洞室的上方形成一个共同的平衡拱，以整个小净距隧道开挖宽度作为毛洞跨度的塌落拱曲线，此时塌落拱高度为：

$$h'' = 0.45 \times 2^{S-1} \times [1 + i(2B_t + B_{np} - 5)] \quad (\text{F.0.1-3})$$

状态二：增建小净距隧道中岩墙加固后承载能力提高，阻止了岩柱体上方松散土体的下沉，仅在单侧洞室上方形成稳定的平衡拱，左右洞室的平衡拱无影响。取小净距隧道单洞结构计算塌落拱曲线，此时塌落拱高度为：

$$h_{q1} = 0.45 \times 2^{S-1} [1 + i(B_t - 5)] \quad (\text{F.0.1-4})$$

增建深埋小净距隧道围岩垂直压力按以下公式计算：

$$q_1 = \gamma h_{q1} = 0.45 \times 2^{S-1} \gamma [1 + i(B_t - 5)] \quad (\text{F.0.1-5})$$

$$q_2 = \gamma h_{q2} = \gamma \left[\frac{4}{3} (h'' - h_{q1}) - \frac{P_z}{\gamma B_m} \right] \frac{B_{wp}}{B_m} \quad (\text{F.0.1-6})$$

$$q'_2 = \gamma h'_{q2} = \gamma \left[\frac{4}{3} (h''_1 - h_{q1}) - \frac{P_z}{\gamma B_m} \right] \frac{B_{wp} + B_t}{B_m} \quad (\text{F.0.1-7})$$

说明：当 $q_2 < 0$ 时，取 $q_2 = 0$ ，当 $q'_2 < 0$ 时，取 $q'_2 = 0$ 。

式中： i —开挖宽度每增减1m时的围岩压力增减率，可按《公路隧道设计规范第一册土建工程》（JTJ3370.1-2018）中表6.2.2-1取值，宽度大于14m时取0.12。

B_{wp} —外侧边破裂面在水平方向的投影长度（m），按式（F.0.1-8）计算：

$$B_{wp} = (H_t - H_m) \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \varphi_e) \quad (\text{F.0.1-8})$$

B_{np} —内侧边破裂面在水平方向的投影长度（m），按式（6.2-11）计算：

$$B_{np} = \min \left[\frac{1}{2} B_z, (H_t - H_m) \tan \left(45^\circ - \frac{\varphi_e}{2} \right) \right] \quad (\text{F.0.1-9})$$

H_t —隧道开挖高度（m）；

H_w —洞室外侧破裂面与侧边开挖轮廓交点的高度（m）；

H_n —洞室内侧破裂面在边墙上起始的高度（m）；

φ_e —岩体计算摩擦角（°）；

P_z —中夹岩柱对上部岩体的支撑力；

B_t —单侧隧道的开挖宽度（m）；

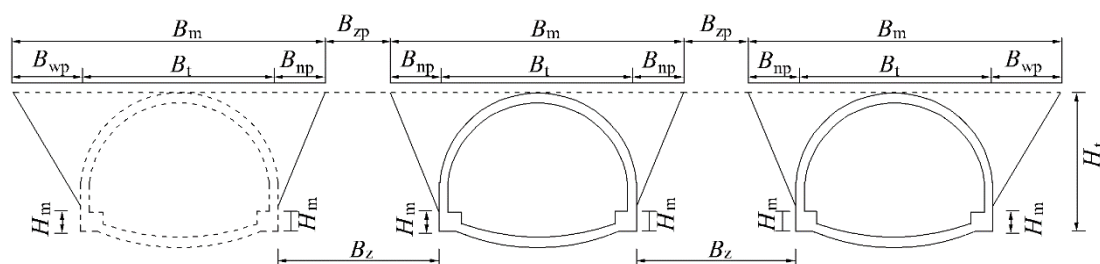
B_m —小净距隧道单侧洞室可能坍塌的宽度（m），按式（F.0.1-10）计算：

$$B_m = B_t + B_{wp} + B_{np} \quad (\text{F.0.1-10})$$

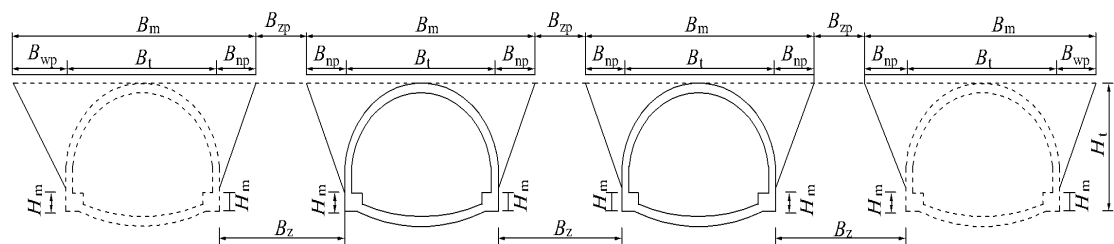
B_{zp} —中夹岩柱有效承载宽度（m），按式（F.0.1-11）计算：

$$B_{zp} = B_z - 2B_{np} \quad (\text{F.0.1-11})$$

符号意义如图6.5-1、图D.0.1-1所示。



(a) 一侧增建



(b) 两侧增建

图F.0.1-1 增建小净距隧道荷载计算示意图

增建小净距隧道中夹岩柱是否发挥承载作用，即判断中夹岩柱有效承载宽度 B_{zp} 是否大于0。若 $B_{zp} > 0$ ，说明中夹岩柱参与承担来自极限承载拱的松散围岩压力，同时发挥承载作用和抑制围岩变形作用。若 $B_{zp} = 0$ ，说明中夹岩柱不参与承担来自极限承载拱的松散围岩压力，仅发挥抑制围岩变形作用。

2 水平侧压力

当围岩级别为 I ~ III 级时：

$$\text{外侧：} \quad e_{1\sim2}^i = \lambda(q_1 + q_2) \quad (\text{F.0.1-12})$$

$$\text{内侧：} \quad e_{3\sim4}^i = \lambda(q_1 + q_2') \quad (\text{F.0.1-13})$$

当围岩级别为 IV ~ VI 级时：

$$\text{外侧：} \quad e_{1\sim2}^i = \lambda(q_1 + q_2 + \gamma h_i) \quad (\text{F.0.1-14})$$

$$\text{内侧：} \quad e_{3\sim4}^i = \lambda(q_1 + q_2' + \gamma h_i) \quad (\text{F.0.1-15})$$

式中： $e_{1\sim2}^i$ — 外侧拱部及边墙任意点水平方向围岩压力 (kPa)；

$e_{3\sim4}^i$ — 内侧拱部及边墙任意点水平方向围岩压力 (kPa)；

h_i — 计算点到拱顶的距离 (m)；

λ — 侧压力系数。

附录G 增建浅埋小净距隧道围岩压力计算方法

1 垂直压力:

$$\text{外侧: } q_{\text{外}} = \gamma H \left(1 - \frac{\lambda_{\text{外}} H \tan \theta}{B_t} \right) \quad (\text{G.0.1-1})$$

$$\text{内侧: } q_{\text{内}} = \gamma H \left(1 - \frac{\lambda_{\text{内}} H \tan \theta}{B_t} \right) \quad (\text{G.0.1-2})$$

$$\text{其中: } \lambda_{\text{外}} = \frac{\tan \beta - \tan \varphi_e}{\tan \beta [1 + \tan \beta (\tan \varphi_e - \tan \theta) + \tan \varphi_e \tan \theta]} \quad (\text{G.0.1-3})$$

$$\lambda_{\text{内}} = \frac{B_z (2H - 0.5B_z \tan \beta) \sin(\beta - \varphi_e) \cos \theta}{2 H^2 \cos(\theta + \beta - \varphi_e)} \quad (\text{G.0.1-4})$$

$$\tan \beta = \tan \varphi_e + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_e + 1) \tan \varphi_e}{\tan \varphi_e - \tan \theta}} \quad (\text{G.0.1-5})$$

式中: H —隧道埋深 (m);

γ —围岩重度 (kN/m^3);

B_t —隧道开挖宽度 (m);

θ —顶板土柱两侧摩擦角 ($^\circ$), 无资料时可参照《公路隧道设计规范第一册土建工程》(JTG3370.1-2018) 中表E.0.2;

β —侧边产生最大推力时的破裂角 ($^\circ$);

φ_e —围岩计算摩擦角 ($^\circ$)。

2 水平侧压力

当围岩级别为 I ~ III级时:

$$\text{外侧: } e_{\text{外}i} = \lambda_{\text{外}} q_{\text{外}} \quad (\text{G.0.1-6})$$

$$\text{内侧: } e_{\text{内}i} = \lambda_{\text{内}} q_{\text{内}} \quad (\text{G.0.1-7})$$

当围岩级别为IV~VI级时:

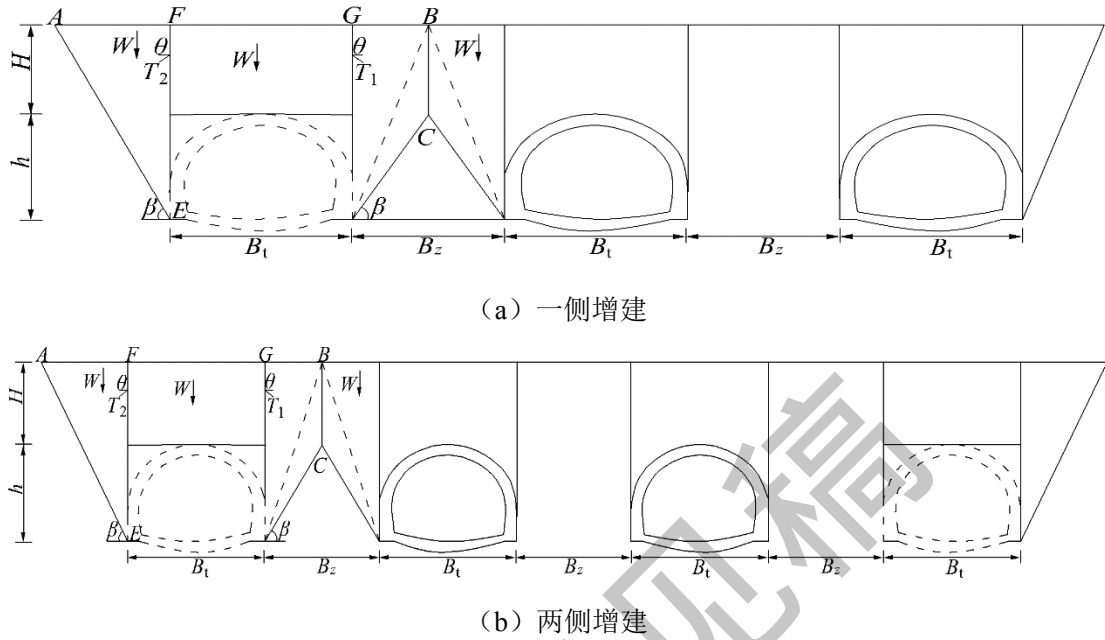
$$\text{外侧: } e_{\text{外}i} = \lambda_{\text{外}} (q_{\text{外}} + \gamma h_i) \quad (\text{G.0.1-8})$$

$$\text{内侧: } e_{\text{内}i} = \lambda_{\text{内}} (q_{\text{内}} + \gamma h_i) \quad (\text{G.0.1-9})$$

式中： h_t —计算点到拱顶的垂直距离（m）；

$\lambda_{\text{外}}$ 、 $\lambda_{\text{内}}$ —小净距隧道外、内侧压力系数。

符号意义见图G.0.1-1。



图G.0.1-1 增建小净距隧道假定滑动面示意图

附录H 偏压条件下增建小净距隧道围岩压力计算方法

1 垂直压力

$$q_i = \gamma h_i - \frac{\gamma(\lambda_5 h_5^2 + \lambda_6 h_6^2) \tan \theta}{2B_i} \quad (i=5、6) \quad (\text{H.0.1-1})$$

$$q_i = \gamma h_i - \frac{\gamma(\lambda_7 h_7^2 + \lambda_8 h_8^2) \tan \theta}{2B_i} \quad (i=7、8) \quad (\text{H.0.1-2})$$

其中: $\lambda_5 = \frac{1}{\tan \beta_5 + \tan \alpha} \times \frac{\tan \beta_5 - \tan \varphi_e}{1 + \tan \beta_5 (\tan \varphi_e - \tan \theta) + \tan \varphi_e \tan \theta}$ (H.0.1-3)

$$\lambda_6 = \frac{1}{\tan \beta_6 - \tan \alpha} \times \frac{\tan \beta_6 - \tan \varphi_e}{1 + \tan \beta_6 (\tan \varphi_e - \tan \theta) + \tan \varphi_e \tan \theta} \quad (\text{H.0.1-4})$$

$$\lambda_7 = \frac{1}{\tan \beta_7 + \tan \alpha} \times \frac{\tan \beta_7 - \tan \varphi_e}{1 + \tan \beta_7 (\tan \varphi_e - \tan \theta) + \tan \varphi_e \tan \theta} \quad (\text{H.0.1-5})$$

$$\lambda_8 = \frac{1}{\tan \beta_8 + \tan \alpha} \times \frac{\tan \beta_8 - \tan \varphi_e}{1 + \tan \beta_8 (\tan \varphi_e - \tan \theta) + \tan \varphi_e \tan \theta} \quad (\text{H.0.1-6})$$

$$\tan \beta_5 = \tan \varphi_e + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_e + 1)(\tan \varphi_e + \tan \alpha)}{\tan \varphi_e - \tan \theta}} \quad (\text{H.0.1-7})$$

$$\tan \beta_6 = \frac{h'_1 + h'_6}{2B_z} \quad (\text{H.0.1-8})$$

$$\tan \beta_7 = \frac{h'_4 + h'_7}{2B_z} \quad (\text{H.0.1-9})$$

$$\tan \beta_8 = \tan \varphi_e + \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_e + 1)(\tan \varphi_e - \tan \alpha)}{\tan \varphi_e - \tan \theta}} \quad (\text{H.0.1-10})$$

式中: q_5, q_6, q_7, q_8 —增建小净距隧道左洞左侧、左洞右侧、右洞左侧、右洞右侧垂直压力;

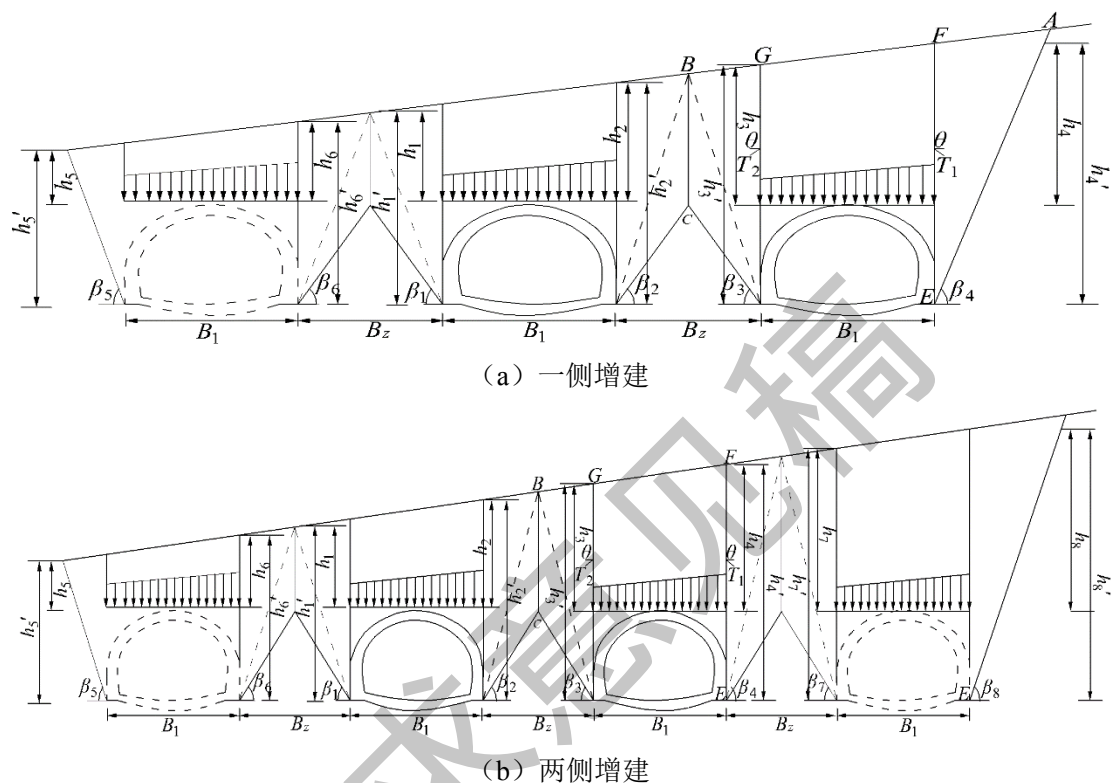
$\lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8$ —增建小净距隧道左洞左侧、左洞右侧、右洞左侧、右洞右侧土压力系数;

β_5 、 β_6 、 β_7 、 β_8 —增建小净距隧道左洞左侧、左洞右侧、右洞左侧、右洞右侧破裂面与水平面夹角；

θ —岩土柱两侧摩擦角 ($^{\circ}$)；

α —地面横坡倾斜角度。

符号意义见图H.0.1-1。



图H.0.1-1 增建小净距隧道偏压条件下荷载计算简图

2 水平侧压力

$$e_i = \lambda_i \gamma h_i \quad (i=5, 6, 7, 8) \quad (\text{H.0.1-11})$$

$$e'_i = \lambda_i \gamma h'_i \quad (i=5, 6, 7, 8) \quad (\text{H.0.1-12})$$

式中： e_i —增建小净距隧道左洞左侧、左洞右侧、右洞左侧、右洞右侧围岩水平压力；

e'_i —增建小净距隧道左洞左侧、左洞右侧、右洞左侧、右洞右侧底部围岩水平压力；

h_i 、 h'_i —内、外侧任意一点*i*至地面的距离 (m)；

λ_i —侧压力系数。

附录 I 既有隧道拆除方法

既有隧道拆除方法

拆除方法	方法特点	适用范围
人工拆除法	以人力借助手持工具为主对隧道结构进行拆除的施工方法，采用的工具一般包括铁锤、风镐、切割工具等，按照对称均衡、自上而下、先附属后主体的拆除顺序进行。	人工拆除方式主要用于拆除隧道检修道、排水沟等附属构件及结构局部精细作业，适用于对周边扰动控制要求高、拆除工程量小、不利于机械施工的拆除工程。
机械拆除法	以机械设备为主对隧道结构进行拆除的施工方法，一般包括静力切割（盘锯、链锯）、水力切割、破碎锤、铰挖机、单臂掘进机等，按照分段均衡、自上而下的顺序进行。	机械拆除主要用于拆除洞门、衬砌、路面等结构，适用于对周边扰动控制要求一般、拆除工程量大、工期较紧张的拆除工程。
爆破拆除法	以爆炸能量为主对隧道结构进行拆除的施工方法，一般包括静态爆破（化学爆破）、控制爆破、水压爆破等。	爆破拆除主要用于拆除隧底结构、衬砌及扩挖围岩等，适用于周边扰动控制要求低、拆除工程量大、工期紧张、对环保要求低的拆除工程。

注：隧道拆除方式可考虑以上两种或多种的组合。

本规范用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示很严格，非这样作不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》（×××）的有关规定”。

3) 当引用本规范中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。