

DBJT45

广西壮族自治区交通运输行业指南

DBJT45/T 064—2024

公路隧道改扩建技术规程

Technical code of practice for reconstruction and expansion of highway
tunnels

2024 - 09 - 03 发布

2024 - 10 - 31 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 调查与评估	2
5.1 一般规定	2
5.2 调查与核实	2
5.3 既有隧道检测	3
5.4 评估	3
6 总体设计	3
6.1 一般规定	3
6.2 平纵设计	3
6.3 横断面设计	4
6.4 改扩建方式选择	4
6.5 施工工法设计	4
7 结构设计	5
7.1 一般规定	5
7.2 衬砌结构	5
7.3 荷载	6
7.4 结构计算	6
7.5 加固设计	6
8 防排水设计	7
8.1 一般规定	7
8.2 防水设计	7
8.3 排水设计	7
9 施工组织	8
9.1 一般规定	8
9.2 施工场地与临时工程	8
9.3 交通组织	8
10 隧道改建施工	9
10.1 一般规定	9
10.2 改建施工	9
10.3 附属设施恢复	9
11 隧道扩建施工	9

11.1	一般规定	9
11.2	洞口工程	10
11.3	洞身工程	11
12	特殊地段施工	12
12.1	一般规定	12
12.2	横通道段施工	13
12.3	富水段施工	13
12.4	破碎带段施工	13
12.5	塌方段施工	13
12.6	岩溶段施工	14
12.7	软岩大变形段施工	14
13	监控量测与超前地质预报	15
13.1	一般规定	15
13.2	既有隧道监测	15
13.3	隧道改建监测	15
13.4	隧道增建与隧道扩建监测	16
13.5	周边环境监测	16
13.6	超前地质预报	16
13.7	隧道安全健康监测	16
14	安全措施	17
14.1	一般规定	17
14.2	安全保障措施	17
15	环保措施	17
15.1	一般规定	17
15.2	环境保护措施	18
附录 A (规范性)	洞口横向滑坡荷载	19
A.1	滑体下切隧道荷载	19
A.2	滑体越顶隧道荷载	21

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广西壮族自治区交通运输厅提出并宣贯。

本文件由广西交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：广西交建工程建设集团有限公司、广西路桥工程集团有限公司、重庆交通大学、广西交通设计集团有限公司、广西交投科技有限公司、广西桂鹿高速公路有限公司。

本文件主要起草人：杨占峰、青志刚、秦大燕、林志、周富华、周祥、韦良文、黄云、黄先滨、杨红运、彭帆、黄伟伦、郭懿、劳家荣、卢忠玉、蓝健宁、黄日仙、李彩霞、廖巧玲、义翔、匡波、梁晓林、蓝东杰、韦雯、张志超。

本文件主要审查人：付宇文、覃木宝、李琳、姚青云、江杰、骆俊晖、李建合。

公路隧道改扩建技术规程

1 范围

本文件界定了公路隧道改扩建的术语和定义，明确了公路隧道改扩建的基本规定，规定了公路隧道改扩建的调查与评估、总体设计、结构设计、防排水设计、施工组织、隧道改建施工、隧道扩建施工、特殊地段施工、监控量测与超前地质预报、安全措施、环保措施的要求。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内公路隧道改扩建工程的设计与施工。

2 规范性引用文件

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

- GB 6722 爆破安全规程
- JGJ 46 施工现场临时用电安全技术规范
- JTG 2232 公路隧道抗震设计规范
- JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
- JTG/T 3660-2020 公路隧道施工技术规范
- JTG C10 公路勘测规范
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG F90 公路工程施工安全技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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。

3.2

隧道改建 tunnel reconstruction

对既有隧道及其部分构造进行维修、加固和改造的工程行为。

3.3

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。

3.4

隧道增建 tunnel addition

在既有隧道旁增加新建隧道，提升通行能力的工程行为。

4 基本规定

- 4.1 应结合公路改扩建设计、工程地质、既有隧道健康状况、通行能力、土地资源、生态环境等因素，合理确定隧道改扩建的方式。
- 4.2 隧道改扩建设计应遵循“安全、耐久、经济、节能、环保”的基本原则，并充分满足公路整体改扩建需要。
- 4.3 隧道扩建与增建应参照新建公路的有关标准进行设计与施工。
- 4.4 隧道改建宜参照新建公路的有关标准进行设计与施工，当客观条件存在较大困难时，隧道主体结构可按既有隧道原技术标准执行，隧道改建的机电附属设施应采用新标准。
- 4.5 隧道改扩建主体结构应按永久性结构设计，强度、稳定性和耐久性符合规定，满足安全运营需求，方便养护与维修作业。
- 4.6 隧道改扩建应根据隧道改扩建形式特点、既有隧道现状、地质条件等内容开展施工风险评估，并建立健全施工质量安全风险控制体系。
- 4.7 隧道改扩建应结合改扩建形式、施工效率、动力提供条件和施工场地等条件合理选择配套机械。
- 4.8 隧道改扩建施工应积极推广使用新技术、新工艺、新材料和新设备。
- 4.9 隧道改扩建施工应进行实时监控量测、隧道断面检测等检测监测项目，并及时整理、分析和反馈，动态调整设计与施工，及时调整支护参数与施工方法。

5 调查与评估

5.1 一般规定

- 5.1.1 应针对隧道改扩建特点及规模，确定调查资料的内容和范围。调查资料应分设计阶段调查和施工阶段调查两个阶段，调查资料应完整、准确，满足改扩建设计与施工要求。
- 5.1.2 隧道改扩建地质勘察应结合既有隧道的勘察成果，充分利用施工阶段揭示的地质条件，开展地质勘察或补充勘察。
- 5.1.3 应根据隧道改扩建类型、方案，开展既有隧道内调查，并结合调查情况，进行不同侧重点的既有隧道检测。
- 5.1.4 应根据调查资料和检测结果，对隧道改扩建工程技术状况、施工安全进行评价。

5.2 调查与核实

- 5.2.1 设计阶段调查应包含既有隧道的设计、施工、运营等阶段资料，按设计要求确定调查内容：
 - 既有隧道设计阶段资料搜集，应包括地质勘察、土建结构设计、附属设施资料；
 - 既有隧道施工阶段资料搜集，应包括施工阶段的开挖全过程、施工缺陷与事故与设计变更、隧道竣工图纸等内容；
 - 既有隧道运营阶段资料搜集，应包括隧道运营单位隧道相关检测、养护、维修、加固、事故报告等内容。
- 5.2.2 施工阶段调查应包含既有隧道调查、周边施工环境调查、交通调查等资料，并根据改扩建工程特点确定调查内容。
- 5.2.3 既有隧道调查主要为衬砌开裂、剥离、剥落及接缝错裂、漏水、结冰、衬砌背后空洞、围岩掉块、流土流沙、材料老化、衬砌屈服等病害。
- 5.2.4 周边环境调查与核实包含以下内容：
 - 应对施工便道、用水、供电、通信、施工场地、弃渣、建筑材料、爆破器材等内容进行调查；

- 应对工程影响范围内地表冲沟、其他建（构）筑物和设施的现状等进行调查、核实，对以往工程影响范围内发生的地质灾害进行调查，并提出相应的保护措施；
- 调查生态环境保护的相关要求，制定相应施工保护措施。

5.2.5 交通调查主要包括施工路段影响区域内交通量、可利用的各等级公路，提出交通分流的可行路径，需保障通行时，应制定保通工程措施，并进行交通安全风险评估。

5.2.6 隧道改扩建地质勘察应根据公路等级、隧址区地形地质条件，按不同阶段要求确定地质调查及工程测绘内容、范围、试验类型等。

5.2.7 应按设计阶段的要求，搜集或测绘地形图、纵断面图等，既有隧道施工导致地形地貌发生变化的，应根据需要重新测绘，测绘资料的图纸内容、精度应满足 JTG C20 和 JTG C10 的要求。

5.2.8 隧道改扩建勘察应搜集既有隧道勘察设计、施工、运营等阶段资料。

5.2.9 隧道改扩建的地质勘察，应进行地质风险调查。

5.3 既有隧道检测

5.3.1 隧道改扩建应对工程影响范围内既有隧道现状进行调查、检测，并分析评价既有隧道的健康状况。

5.3.2 应利用钻探或物探手段加强对既有隧道的检测，查明竣工资料与实际结构是否相符合。

5.3.3 应根据调查、检测结果，对工程影响范围内的既有隧道及其他建（构）筑物进行监测。

5.4 评估

5.4.1 隧道改扩建应结合施工、竣工、养护、加固、检测资料对既有隧道结构承载能力和结构安全性进行评估，并分析改扩建施工对既有隧道安全性的影响。

5.4.2 隧道改扩建施工应按照有关规定开展施工安全风险评估，编制风险评估报告，确定安全风险等级、风险处置清单，并提出风险防控措施。

5.4.3 隧道改扩建施工安全风险评估应包含对施工方法风险评估，施工期间需保通时，还应对施工期间交通安全风险进行评估。

5.4.4 应评价隧道改扩建对邻近既有隧道运营安全性的影响。

5.4.5 针对既有隧道改扩建病害段，应评估隧道改扩建施工造成的病害加剧，存在坍塌等安全隐患时应进行论证。

6 总体设计

6.1 一般规定

6.1.1 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、既有隧道监控条件、交通组织、建设条件等进行经济技术比较，充分利用既有隧道，合理确定改扩建方式和技术指标。

6.1.2 隧道改扩建横断面设计应结合改扩建方式、前后接线构筑物、平纵指标进行设计，扩建时可采用单侧加宽，双侧加宽断面的形式。

6.1.3 隧道改扩建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。

6.1.4 既有隧道有保通要求时，隧道改扩建方案应结合改扩建施工对通行的不利影响，结合施工方法、交通组织、安全控制措施等进行隧道结构设计。

6.2 平纵设计

6.2.1 隧道改建时，宜保持现有公路路线平纵指标，并充分利用既有隧道。

- 6.2.2 隧道扩建时，隧道的平纵指标宜进行小幅度调整，减小前后接线的影响范围。
- 6.2.3 增建隧道与既有隧道的净距应根据增建隧道施工对既有隧道造成的不利影响进行调整，增建隧道与既有隧道的净距不宜小于 1.5 倍增建隧道及既有隧道的最大开挖宽度。
- 6.2.4 隧道前后接线的长度应满足交通分流的要求，纵坡应满足排水需要。

6.3 横断面设计

- 6.3.1 隧道改扩建横断面设计宜利用既有隧道的净空，减少新增的开挖面积。
- 6.3.2 隧道改扩建的预留变形量大小应结合工程经验确定。
- 6.3.3 隧道改扩建的设计标高位置应根据平纵线形需要及内轮廓相对位置关系确定，原位改扩建时，设计线位置及设计标高位置宜维持在原位置。
- 6.3.4 双洞隧道扩建单侧加宽时，不宜向缩小双洞净距一侧加宽，条件限制时应避免同时向缩小双洞净距一侧加宽。
- 6.3.5 隧道改扩建时，宜利用隧道内的紧急停车道、人行横通道位置、净距和建筑界限。
- 6.3.6 隧道扩建时，隧道仰拱断面大小应根据既有隧道的仰拱地基情况以及施工的便利性，合理设计仰拱弧度、深度。
- 6.3.7 隧道改建时，因维修加固需要降低通行需求时，既有隧道的横断面应满足 JTG 3370.1 的相关要求。
- 6.3.8 隧道增建的内轮廓设计应根据建筑限界要求确定，并符合 JTG 3370.1 与 JTG 2232 的有关规定。

6.4 改扩建方式选择

- 6.4.1 隧道的改扩建方案应结合隧道通行要求，前后接线条件，既有隧道结构情况，施工可行性，经济性，安全性等因素设计，可采用扩建、增建并改建既有隧道、增建并扩建既有隧道等组合方式。
- 6.4.2 因道路通行需求变化，使用功能变化，现有线形和横断面宽度、结构功能满足要求时，宜优先采用隧道改建方式。
- 6.4.3 既有隧道较短，工程规模不大时，单洞二车道通行改为三车道通行时，宜采用扩建。
- 6.4.4 既有隧道单洞两车道通行改为四车道通行时，宜采用既有隧道两侧增建隧道方式进行扩建。
- 6.4.5 既有隧道双洞隧道扩建，其中一洞无法采用增建隧道时，可采取一洞扩建，一洞新增的组合方式。
- 6.4.6 不宜对既有连拱隧道进行扩建，确有必要时，应充分论证。
- 6.4.7 既有隧道病害严重，存在重大安全隐患时，经技术、安全论证后，可暂停既有隧道使用，结合隧道前后连接段改造，增建隧道。
- 6.4.8 两车道及两车道以上的既有隧道长于 1 km 时，不宜采用扩建方式增加车道。

6.5 施工工法设计

- 6.5.1 隧道改扩建的施工工法应根据改扩建方式、围岩级别、既有隧道的病害情况、开挖断面大小以及保通需求综合确定。
- 6.5.2 增建隧道与既有隧道净距超过 1.5 倍增建隧道及既有隧道的跨度时，增建隧道的施工工法可按照 JTG/T 3660 执行，并严格控制开挖进尺与爆破振动速度。
- 6.5.3 隧道改建利用既有隧道衬砌时，可对既有隧道衬砌进行加固和保护，施工方案宜采用切割、静态开挖、机械破碎法及松动爆破等开挖方法。
- 6.5.4 单洞两车道扩建为单洞三车道时，V 级围岩段扩建段可采用侧导坑、台阶法，IV 级以上的围岩可采用台阶法。
- 6.5.5 单洞两车道扩建为单洞四车道时，宜采用侧导坑开挖，V 级围岩可采用侧导坑核心土开挖，IV

级围岩以上可采用侧导坑台阶法开挖。

6.5.6 隧道改扩建的结构拆除工法宜采用分段机械切割凿除开挖，围岩较好时，可采用分段机械切割松动爆破开挖。

6.5.7 既有隧道有保通需要进行扩建时，隧道扩建开挖应评估对既有通行隧道的不利影响，开挖工法宜配合中夹岩加固措施，按照“小断面、短进尺、弱爆破、少扰动”的原则选取。

6.5.8 横通道、紧急停车带、配电横洞等附属结构施工方法应根据断面大小、围岩分级、既有衬砌情况合理选择。

7 结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 新增隧道及扩建隧道宜采用复合式衬砌，III级及III级以下的公路隧道洞身段可采用整体式衬砌及喷锚支护。

7.1.2 复合式衬砌应结合围岩地质条件、断面形状、支护结构、施工条件及围岩自承载能力合理设置，并满足安全性、耐久性、稳定性要求。

7.1.3 复合式衬砌可根据工程类比、计算分析综合确定，施工期间应根据监控量测结果进行动态设计。

7.1.4 进行隧道改建时，应结合既有隧道病害情况、结构设计类型、检测结果对需要加固段落进行加固。

7.1.5 两车道隧道IV级、V级围岩段、两车道以上断面III级、IV级、V级围岩段宜进行明洞及二次衬砌计算承载力验算分析，验算分析应采用破损阶段法。

7.1.6 隧道松散围岩压力可采用荷载结构法进行计算，应根据不同的围岩、深浅埋、隧道净距以及不良地质进行计算。

7.1.7 对既有隧道进行维修加固时，应根据维修加固的功能需要进行加固。进行临时加固时，应结合其施工期安全性的要求进行设计。进行永久维修加固时，应根据既有隧道需要达到的技术指标，充分考虑其安全性、耐久性的需要。

7.2 衬砌结构

7.2.1 复合式衬砌初期支护及二次衬砌，初期支护与二次衬砌之间应设预留变形量，当围岩变形可能对既有隧道造成不利影响时，应采取控制开挖工法、加强支护、加强锁脚、控制开挖进尺及断面大小等手段限制围岩变形。

7.2.2 新增隧道与既有隧道、分离式既有隧道扩建后为小净距隧道时，应结合小净距的不利影响，对中夹岩进行加固，并相应加强支护。

7.2.3 隧道衬砌轮廓宜采用曲墙式拱形断面，两车道宽度及两车道以上断面宽度IV级、V级围岩宜设置仰拱，III级围岩段落应根据地质条件、地下水、隧道断面宽度情况综合设定仰拱形式。

7.2.4 隧道扩建拆除衬砌前应设置超前加固，超前加固可采用锚杆、注浆小导管、型钢护拱、钢支撑等方式进行，注浆小导管设计时应应对注浆压力提出技术要求。

7.2.5 隧道扩建二次衬砌应根据开挖宽度、围岩级别、地下水情况合理配筋，不良地质段二次衬砌宜采用钢筋混凝土结构。

7.2.6 因变形控制、地质条件、施工安全、早强等需要时，初期支护宜采用型钢拱架，二次衬砌宜考虑承担较大比例的荷载。

7.2.7 地下水富水段，钢筋混凝土衬砌裂缝宽度应控制不大于0.10mm，隧道衬砌纵向分布钢筋间距宜适当减小，但不宜小于主筋间距。

7.2.8 岩溶充填物、破碎带、塌方段等段落可采用全环注浆、加密钢架、提高二衬承载比例等方式支护。

7.2.9 隧道扩建为单洞四车道时可采用双层钢架初支，双层钢架初支锁脚宜进一步加强，锁脚与钢架之间应进行有效连接。

7.3 荷载

7.3.1 隧道改扩建荷载应根据地形、地质、埋深、支护条件、施工方法、隧道间距等确定。

7.3.2 隧道的松散围岩压力可根据围岩级别不同、深浅埋、隧道净距大小，按 JTG 3370.1 的相关要求进行计算。

7.3.3 隧道增建可按照新建隧道计算围岩压力，与既有隧道相互干扰时，隧道增建应按照小净距隧道进行荷载计算。

7.3.4 隧道增建施工对既有隧道造成影响时，既有隧道宜考虑新增荷载的不利影响，新增荷载可按照小净距荷载进行计算后扣除原设计荷载。

7.3.5 既有隧道采用扩建时，其荷载计算宜考虑既有隧道净距影响，并考虑既有隧道施工对围岩的前期扰动。

7.3.6 既有隧道前期施工期间发生塌方时应根据塌方高度、塌方横向范围以及塌方潜在影响区确定围岩级别及围岩压力。

7.3.7 既有隧道段存在滑坡时，应根据改扩建方式及滑体与隧道的位置关系，计算滑体对隧道结构产生的荷载作用，附加荷载按附录 A 式 (A.1) 计算。

7.3.8 隧道改扩建施工期间的荷载应根据施工阶段、施工方法、施工条件、辅助施工措施确定。

7.4 结构计算

7.4.1 隧道改扩建的结构计算方法应根据隧道埋深进行区分。

7.4.2 隧道改扩建的复合式衬砌二次衬砌结构计算可采用荷载结构法进行计算，采用荷载结构法进行计算时，应计入弹性抗力的影响。

7.4.3 隧道增建与既有隧道、扩建后的既有隧道净距较小时，应计入既有隧道开挖造成的扰动不利影响，结构计算时应降低弹性抗力系数，抗力系数的折减宜结合工程经验及地质情况确定。

7.4.4 需要分析初期支护的稳定、考虑结构变形压力时可采用地层结构法进行计算，采用地层结构法进行计算时，计算结果应经分析评估后采用。

7.4.5 需要对既有隧道进行加固时，加固计算应根据新旧结构的结合性能和协同受力特点确定，按照一次受力或多次受力综合考虑。

7.4.6 利用既有隧道病害段衬砌时，宜考虑病害对结构承载力的不利影响，对存在的裂缝可根据裂缝深度不同考虑其不利影响，对钢筋混凝土衬砌结构可简化为塑性铰构造，对素混凝土裂缝可通过刚度不同予以考虑，刚度的折减宜结合工程经验确定。

7.4.7 隧道改扩建的明洞、洞门应根据增建、扩建等多次扰动边仰坡的不利影响进行结构计算。

7.5 加固设计

7.5.1 隧道改扩建的维修加固可分为临时加固和永久加固，因为保通需要或降低隧道增建施工影响时可采取临时加固措施。

7.5.2 隧道改扩建加固设计应以原设计、施工、检测、勘察资料为基础，结合成因分析，针对不良地质段提出设计方案。

7.5.3 应按照确定的技术指标进行加固设计，加固后的衬砌承载力、防排水等要求，应符合 JTG 3370.1 的有关规定。

7.5.4 涉及预留洞室、电缆沟的加固处置应结合机电改造进行，应充分利用既有预留洞室，避免新增较大预留洞室。

7.5.5 应根据原结构的实际受力状态，结合加固后的组合结构的应变滞后、协同受力及结合面连接问题进行加固设计。

7.5.6 加固设计应与实际施工方法紧密结合，采取有效措施，保证新增构件、部件与原结构连接可靠，新增截面与原截面粘结牢固，形成整体共同工作，并应避免对未加固部分，以及相关的结构、构件和地基基础造成的不利影响。

8 防排水设计

8.1 一般规定

8.1.1 隧道改扩建应根据既有隧道的改建、扩建以及增建隧道的相互干扰，综合采取防、排、堵、截、综合治理、因地制宜。

8.1.2 隧道改扩建防水设计应按照多道防线、接缝设防的原则进行防水设计，可采取防水卷材、二衬自防水、施工缝防水、沉降缝防水等多种防水方式。

8.1.3 隧道增建、扩建可能造成地表水渗漏影响居民生产、生活用水时，宜采用堵水或截排水引流等措施。

8.1.4 隧道改扩建的防排水要求应符合 JTG 3370.1 的规定。

8.2 防水设计

8.2.1 隧道改扩建防水卷材宜采用自粘防水卷材，防水卷材铺设前应设置无纺布，防水卷材厚度不应小于 1.2 mm，搭接长度不应小于 100 mm。

8.2.2 无纺布密度不应小于 300 g/m²，应使用热熔衬垫进行铺挂，热熔衬垫应以梅花状排布，铺挂间距宜为 0.5 m~1.0 m。

8.2.3 防水板宜使用自动爬焊机进行焊接，搭接长度应大于 100 mm，且应留有真空检查缝。

8.2.4 隧道二次衬砌混凝土应满足抗渗要求，抗渗等级不应低于 P8。

8.2.5 隧道改扩建施工缝及变形缝防水设计符合以下要求：

- 施工缝与变形缝的设置应视实际施工情况和围岩等级而定，施工缝宜与变形缝重合；
- 结构缝处应设置中埋式止水带及背贴式止水带，并使用沥青麻絮、膨胀止水条等填缝材料进行填充；
- 止水带中线应与结构缝重合，误差不大于 10 mm；
- 明洞与二次衬砌接缝处，应设防水砂浆保护层对外露止水带进行防护，保护层厚度宜大于 300 mm。

8.3 排水设计

8.3.1 隧道改扩建应重视排水设计，排水设计应结合导水和排水两方面的设计，导水设计可采用环向盲管、纵向盲管、横向排水管等设计方式，排水设计可采用中央排水沟、中央侧偏排水沟、两侧排水沟等。

8.3.2 纵向排水系统坡度的设计应与隧道纵坡一致，横向排水坡度不应小于 1.5%。

8.3.3 排水盲管管径的设计应根据水力计算确定，不应小于 100 mm，同时不应侵占二衬空间，水量较大的隧道段可加密设置。

8.3.4 隧道潜在裂隙富水段落应设置泄水孔，并引入排水沟。

8.3.5 富水断层段或岩溶区出水段应设置导水坑、汇水槽、集水横洞等排水设施，并做好排水设施与隧道排水沟的连接。

9 施工组织

9.1 一般规定

- 9.1.1 隧道改扩建施工前应熟悉既有隧道的设计文件，并做好核对工作。
- 9.1.2 隧道改扩建开工前，应进行现场核实并完成工程移交手续。
- 9.1.3 隧道改扩建施工前应编制专项施工方案，宜进行专家论证，做好安全技术交底工作。
- 9.1.4 隧道改扩建施工组织设计内容应包含拆除扩挖作业实施细则、临时加固措施、扩挖安全性保障措施、事故应急处置措施等内容，并涵盖 JTG/T 3660-2020 中附录 A 所规定的内容。
- 9.1.5 施工场地建设应遵循“安全第一、科学规划、因地制宜、永临结合、经济适用、绿色环保”的原则。
- 9.1.6 隧道改扩建施工应进行地面控制测量、隧道内控制测量、掘进施工测量、竣工测量。
- 9.1.7 隧道改扩建时，应合理协调施工顺序，避免相互影响造成安全隐患。

9.2 施工场地与临时工程

- 9.2.1 应根据建设需要并结合与周边环境及设施的相互关系进行场区规划设计。
- 9.2.2 宜利用“永临结合”保留永久使用的场地与便道。
- 9.2.3 占用既有公路通行的施工便道设置符合下列要求：
 - 应提前编制交通组织方案，并按规定审批实施；
 - 施工便道与既有公路行车道之间应设置防护隔离设施和防眩设施等临时交通安全设施。
- 9.2.4 临时用电线路宜按照“永临结合”的原则进行布设，并避开施工作业面、作业棚、生活设施、器材堆放场地与通行路段。
- 9.2.5 临时用电线路应符合 JGJ 46 的有关规定。

9.3 交通组织

- 9.3.1 单洞既有隧道，采用封闭主线交通，通行车辆提前绕行的行车方案时，符合以下规定：
 - 相关交通组织方案应提前与相关部门沟通，确保绕行方案的可行性；
 - 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，宜压缩封闭周期；
 - 应在关键路口及前方适当位置设立指路标牌，防止车辆误入施工区域；
 - 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。
- 9.3.2 双洞既有隧道，采用一侧扩挖，一侧双向通行的行车方案时，符合以下规定：
 - 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；
 - 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；
 - 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；
 - 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。
- 9.3.3 交通量大、绕行难度大的隧道扩建，需在不中断交通的情况下进行扩建施工时，制定保证车辆通行安全的措施，应设置以下装置：

- 车辆通行空间防护桁架；
- 充足的临时照明系统；
- 明显的安全标志。

9.3.4 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、通过车辆交通量。

10 隧道改建施工

10.1 一般规定

10.1.1 对既有隧道土建结构、机电及附属工程的补强、翻修、加固的隧道改建工程，应以消除既有隧道病害或安全隐患、提高公路服务水平及通行效率为原则进行施工。

10.1.2 隧道改建应根据改建需要对其他既有隧道设施进行保护。

10.1.3 无衬砌隧道改建、隧道灾后改线改建等需进行扩挖的改建类型应按隧道扩建或隧道增建施工的相关要求执行。

10.2 改建施工

10.2.1 对既有隧道衬砌开裂段进行局部表面补强应采用机械或人工凿除，并挂网、喷射混凝土。

10.2.2 既有隧道边墙加固应根据设计要求加工合适的施工模板或施工台车。

10.2.3 对无衬砌的既有隧道进行锚杆、小导管加固应按设计要求进行注浆。

10.2.4 改建既有隧道排水沟应接顺既有隧道排水系统及路基排水系统。

10.2.5 既有隧道路面翻修施工不应堵塞或破坏既有隧道防排水系统。

10.2.6 既有隧道电缆沟改造应按新建隧道施工要求执行。

10.2.7 增设机电设备等附属设施时，不宜开凿设备与管线洞室；必须开凿洞室时，应采用小型机械切割开凿，并避开既有隧道二次衬砌施工缝、沉降缝与伸缩缝位置。

10.2.8 连拱隧道改建施工前应对中隔壁进行加固，施工过程中应避免造成中隔壁破坏。

10.3 附属设施恢复

10.3.1 改建完毕后应恢复被拆除的以及在施工中造成破坏的附属设施。

10.3.2 隧道排水系统应在改建完成后进行疏通与恢复。

11 隧道扩建施工

11.1 一般规定

11.1.1 洞口扩建施工应遵循图 1 所示的顺序。

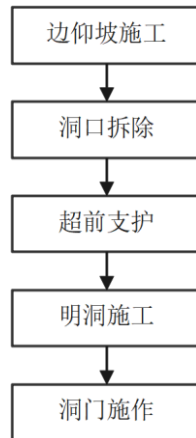


图1 洞口扩建施工流程图

11.1.2 隧道扩建施工上方和洞口外 100 m 范围内，不准许从事采矿、采石、取土、倾倒废弃物、爆破作业等活动。

11.1.3 洞口扩建前应根据实际情况采用地表降水、地面砂浆锚杆加固、地表注浆加固、超前注浆加固、超前支护、径向注浆、旋喷桩加固等辅助措施进行进洞前防护，且应符合 JTG/T 3660-2020 第 15 章的有关规定。

11.1.4 洞身扩建施工前应对原衬砌的完整性和稳定性进行检查，宜利用既有隧道衬砌支顶作用保证施工安全。

11.2 洞口工程

11.2.1 既有隧道洞口拆除应先拆除洞门混凝土砌筑结构，洞门拆除及明洞拆除宜采用机械拆除。

11.2.2 隧道拆除宜填筑平台辅助施工，填筑要求符合以下规定：

- 填筑平台的基底承载力应满足设计要求；
- 填筑平台采用合格填料，可采用破除的碎渣作为填筑材料；
- 填料应分层填筑夯实，单层填筑厚度不超过 30 cm，以满足设备施工要求。

11.2.3 若洞口段偏压对拆除施工有影响，应提前进行反压处理。

11.2.4 如需拆除原永久性支挡工程，应进行受力验算并采取相应措施保证原结构稳定

11.2.5 洞口段拆除符合以下规定：

- 洞口拆除宜避开雨季施工，当无法避免时，应采取措施防止明洞基底积水和边仰坡垮塌；
- 洞口拆除需要采用静态爆破辅助施工的，应搭设钢管防护棚等避炮掩体防止飞石造成危害。

11.2.6 既有隧道洞口拆除前应对边仰坡进行防护，浅埋段洞口上方覆盖层厚度不足隧道开挖断面宽度 1 倍的，应做好防护，保证施工安全。

11.2.7 应遵循“零开挖”理念进行扩建部分边仰坡的开挖。

11.2.8 扩建部分边仰坡应做好与既有隧道边仰坡的衔接，防护形式与施工工艺宜相同。

11.2.9 应按设计要求在边仰坡上设置沉降观测点，并进行监控量测，对数据进行分析，及时掌握观测点稳定状态。

11.2.10 进洞前防护形式与施工要求应符合设计文件与 JTG/T 3660-2020 第 6 章的有关规定。

11.2.11 明洞衬砌施工应保证边仰坡的稳定性。

11.2.12 洞门端墙砌筑后，墙背回填应两侧同时进行，防止衬砌边墙产生偏压。

11.2.13 洞门的排水、截水设施应与洞门工程同步施工，并与扩建后的路基排水系统连通。

11.3 洞身工程

11.3.1 洞身施工前应对原衬砌的完整性和稳定性进行检查,宜利用既有隧道衬砌支顶作用保证施工安全。

11.3.2 洞身扩挖应根据既有隧道结构特点、围岩特性和掌子面稳定情况、断面大小、支护形式、工期要求、场地条件及经济性等因素,选择合适的开挖方法,确定开挖参数。

11.3.3 既有隧道二次衬砌拆除宜填筑平台辅助施工,填筑应满足 11.2.2 的要求,拆除符合以下规定:

- 二次衬砌拆除应遵循“从上到下、左右分步分台阶”的原则,不能掏底拆除;
- 二次衬砌拆除前应采取有效预支护措施,控制变形和沉降量;
- 二次衬砌应分段、对称拆除,根据围岩情况,每次拆除长度宜为 2 m~6 m,不准许跨施工缝、变形缝一次拆除;
- 拆除宜以机械作业为主,不准许破坏周边围岩和结构;
- 拆除过程如采用爆破作业,应采取有效措施保护既有建(构)筑物,控制单次最大爆破药量,拆除同一断面衬砌可采取多次松动弱爆破,不准许增加炸药量一次爆破拆除到位。

11.3.4 当Ⅲ、Ⅳ级围岩完整,初期支护拆除与扩挖可同步进行,但二次衬砌与初期支护拆除不可同步进行。

11.3.5 仰拱部位拆除符合以下规定:

- 仰拱到掌子面距离应符合 JTG F90 的有关规定,扩挖既有隧道塌方段、破碎段应提高安全等级,缩短安全步距;
- 仰拱每循环破除长度不应大于 3 m,必要时可分幅破除;
- 仰拱破除可采用人工钻眼进行松动爆破并配合机械拆除的方式,人工钻眼应避开既有隧道钢筋位置。

11.3.6 钻爆设计应根据扩挖段围岩地质条件、开挖断面、开挖方法、爆破材料及二衬拆除方法等情况进行编制。

11.3.7 爆破应采用光面爆破、微震爆破、预裂爆破等控制爆破技术,钻爆设计应包含以下内容:

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

11.3.8 爆破施工应符合 GB 6722 的有关规定,并通过爆破振动监测等手段严格控制爆破振动对隧道围岩的影响,施工中还应根据监测结果与爆破效果及时优化钻爆设计。

11.3.9 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静态爆破等其他非火工品开挖技术。

11.3.10 小净距隧道扩建施工符合以下规定:

- 围岩开挖宜采用机械开挖,采用爆破开挖时应符合 GB 6722 的有关规定;
- 小净距隧道左右洞扩挖掌子面不准许处于同一断面位置,后行洞扩挖掌子面应滞后先行洞二次衬砌 30 m 以上距离;
- 中夹岩需要加固地段,应在先行洞扩挖后与初期支护同步完成。

11.3.11 台阶法扩挖施工符合以下规定:

- 当既有隧道为小跨度隧道、中等跨度隧道时,现场围岩条件较好,且通过专家论证后,可使用台阶法进行隧道扩建;

- 隧道扩建的台阶以填挖结合的方式形成，台阶数量和台阶高度应结合隧道断面高度、扩挖的机械设备及围岩稳定性等因素确定，可采用二台阶法或三台阶法。台阶数量不宜多于三个，开挖高度宜为 2.5 m~3.5 m；
- 上台阶开挖每循环进尺：Ⅲ级及以下等级围岩不宜大于 3 m，Ⅳ级围岩不宜大于 2 榀钢架间距，下台阶每循环进尺应与上台阶相同；
- 台阶单侧拉槽长度不宜超过 10 m；
- 下台阶左、右侧开挖与前后错开 3 m~5 m，同一榀钢架两侧不准许同时悬空；
- 下部施工应减少对上部围岩、支护的干扰和破坏；
- 下台阶应在上台阶喷射混凝土强度达到设计强度的 70% 以后开挖。

11.3.12 中隔壁法扩挖施工符合以下规定：

- 中隔壁支撑宜采用钢架支撑，也可采用钢桁架支撑或木垛支撑；
- 采用钢架支撑时应采取控制横向变形的稳定措施；
- 各分部开挖进尺不宜大于 1 榀钢架间距。各分部开挖掌子面应错开，错开距离不宜小于 2 m；
- 开挖后应立即施作初期支护，初期支护强度达到设计规定后，可进行同一断面位置的其他分部的开挖；
- 中隔壁支撑应在仰拱施工前拆除，具体时机应根据拱顶下沉或支撑受力监测趋稳情况而定，一次拆除长度应与仰拱一次浇筑长度相适应。

11.3.13 双侧壁导坑法扩挖施工符合以下规定：

- 双侧壁支撑宜采用钢架支撑，采用钢架支撑时应设置控制横向变形的稳定措施；
- 侧壁导坑跨度宜为整个隧道开挖宽度的三分之一；
- 侧壁导坑开挖掌子面应超前中间土体开挖掌子面 30 m~50 m 距离；
- 侧壁导坑开挖后，应及时施作初期支护；
- 双侧壁支撑可在仰拱施工前拆除，一次拆除长度应与仰拱一次浇筑长度相适应。

11.3.14 隧道仰拱扩挖符合以下规定：

- 仰拱扩挖长度及施工应紧随仰拱破除，并尽快施作初期支护；
- 仰拱开挖应整幅施工，不准许分幅施工；
- 做好排水设置，清除仰拱底部无虚渣，确保承载力满足设计要求；
- 超挖部位不准许采用松渣回填。

11.3.15 排水盲管的材质、规格和布设位置应符合设计要求。

11.3.16 隧道衬砌防水层的设置应符合设计要求与 JTG/T 3660-2020 第 11 章的有关规定，施工时应采取相应措施防止防水板和止水带受到损坏。

11.3.17 根据开挖进尺长度在既有隧道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 80 cm，孔深不小于原二衬厚度。

11.3.18 隧道扩建支护与衬砌施工应符合 JTG/T 3660-2020 第 9 章的有关规定。

11.3.19 隧道扩建施工采用临时支护时，选择适宜的扩挖方式与施工材料。

11.3.20 临时支护应于永久支撑封闭完成及监测围岩内力趋于稳定后进行拆除。

11.3.21 扩建大断面二次衬砌施工台车模板与扣板拼接错台不应大于 2 mm。

12 特殊地段施工

12.1 一般规定

12.1.1 特殊地段施工前，应根据不同的地质、施工条件，编制专项施工方案，并通过论证。

12.1.2 特殊地段危险程度高，施工时应在掌子面附近安装洞内监控系统，并由专人进行实时监控。特殊段施工时，应加密监测点布设，视情况提高监控量测频率，并根据监测结果动态调整支护参数。

12.1.3 施工前宜收集既有隧道的施工资料，准确判断既有隧道特殊地段的位置，并做好相应的施工准备。

12.1.4 施工过程中应加强对周边地质、水文、环境等方面的监测，及时掌握隧道及周围岩体的动态变化。

12.1.5 特殊地段安全步距应视监控量测情况进行缩短，二次衬砌应尽早施作。拱腰以上采用注浆加固处治手段的既有隧道段，若规模较大，则在拆除衬砌时不宜跨越整段一次性拆除，应分段拆除并进行初期支护后，再进行下一分段的拆除与施工。

12.2 横通道段施工

12.2.1 隧道扩建施工时，保留既有横通道的，符合以下规定：

- 应加强与横通道交叉处的监控量测，严格控制爆破振动，必要时应采取注浆加固措施；
- 主洞在横通道段施工时，二衬拆除方式应以机械切割为主，如使用爆破施工，应对横通道进行爆破振动监测，爆破方式宜以预裂爆破为主，爆破振动速度不宜超过 10 m/s；
- 横通道段施工时，应确保防水层搭接的长度符合设计要求；
- 破除横通道与既有隧道交叉点时，宜采用切割机沿交叉处边缘进行衬砌破除，切割出临空面后再向外扩展破除。

12.2.2 横通道段进行扩建时，符合以下规定：

- 隧道增建向旧隧道施工横通道时，应根据爆破振动速度和掌子面距衬砌的距离进行掘进，逐步减小每循环进尺和爆破使用药量；
- 掌子面距离衬砌 5 m 时，宜停止掘进，封闭掌子面，改为由旧隧道向隧道增建方向掘进；
- 横通道进行扩建施工时，横通道衬砌应在主洞初期支护达到基本稳定后进行拆除。

12.3 富水段施工

12.3.1 富水段施工时，应提前做好防排水措施，可采用超前帷幕等方式注浆堵水，堵水效果经钻孔验证为良好后，方可进行下一步施工。

12.3.2 富水段施工，应视涌水情况增设排水盲管，设置临时排水沟或排水槽，充分利用既有隧道排水系统，分流排水。

12.3.3 富水段每循环施工应使用加深炮孔探测前方出水点，对于小型的裂隙、溶腔管道等蓄水地质构造，可考虑采用注浆封堵。

12.3.4 对于区域水压较大，易产生突泥突水的施工段，可采用平行导坑、超前钻孔泄压，使用速凝混凝土快速封闭后再进行初期支护施工。

12.4 破碎带段施工

12.4.1 破碎带施工前，应进行超前预注浆，并通过检查孔取芯、注水试验及孔内成像等方法检验注浆效果，注浆效果达标后方可进行衬砌拆除施工。

12.4.2 浅埋段破碎带施工时，宜在地表采取注浆加固措施，防止地表水流入地下，造成围岩软化、失稳。

12.4.3 破碎带施工时，可在既有隧道二衬的保护下对前方开挖段进行超前注浆。

12.5 塌方段施工

12.5.1 既有隧道塌方段施工时，开挖后应及时进行支护，必要时可采用超前预注浆、超前大管棚等进

行超前支护。

12.5.2 既有隧道在仅产生局部小规模塌方的段落扩挖时，每循环应使用加深炮孔对围岩空洞及松散体进行探测，探测出的空洞及松散体应及时进行注浆，确保回填密实。

12.5.3 对开挖后轮廓线外仍存在空洞的施工段，可在初期支护时预埋注浆管，初期支护后及时进行注浆回填。

12.5.4 既有隧道在发生大规模塌方、冒顶塌方的段落施工时，开挖前可在原有衬砌的保护下打设注浆锚杆，注浆密实后再进行扩挖施工。注浆宜采用分段式注浆，应根据地质条件确定分段长度。

12.6 岩溶段施工

12.6.1 岩溶段施工时，应加长超前地质预报的叠加长度，每循环施工前使用加深炮孔，探明前方空洞位置，根据空洞位置采取不同的治理措施，并符合以下规定：

- a) 岩溶空腔位于开挖轮廓内的施工段，非机械开挖可在空洞暴露后及时利用洞渣回填，自上而下开挖。爆破开挖应注意控制药量，炮孔打设应自上而下施工，不准许开挖面同时打设炮孔；
- b) 岩溶空腔跨越开挖轮廓内外的施工段，掘进时宜采取非机械开挖和弱爆破开挖。空洞规模较小的，可预留注浆孔，初期支护快速通过后对空洞进行补注浆；空洞规模较大的，应注浆加固后再进行下一步施工；
- c) 岩溶空腔位于开挖轮廓外的施工段，距离开挖轮廓 3 m 以外的空洞视沉降情况可不作处理。空洞位置侵入开挖轮廓 3 m 以内的，处理措施参考本条款中 b) 的方法。

12.6.2 采用跨越法施工的既有隧道段，宜保留和利用现有的跨越结构。如必须拆除，则在扩建施工时应采取措施确保拆除时洞渣及衬砌碎块不会堵塞溶洞通道。

12.7 软岩大变形段施工

12.7.1 针对已处治过的软岩大变形段，掘进时应严格遵循短进尺原则，对拆除衬砌后重新开挖的软岩大变形段，应根据监控量测的结果，结合围岩的变形程度，对软岩大变形重新进行分级，并定制专项施工方案，软岩大变形分级判据及可采用处置措施见表 1。

表1 软岩大变形分级表

大变形分级	名称	判据 (%)	可采用处置措施
I	轻微大变形	$2 \leq U_a/a < 3$	自进式长锚杆、双层小导管、加密钢拱架
II	中等大变形	$3 \leq U_a/a < 5$	初支设置纵向变形缝、自进式长锚杆、超前大管棚、钢纤维喷射砼、加密钢拱架、加强衬砌
III	强烈大变形	$5 \leq U_a/a$	初支设置纵向变形缝、可伸缩锚杆、超前大管棚、钢纤维喷射砼、可缩式 U 型钢拱架、加强衬砌

注：U_a为变形量，a为隧道宽度。

12.7.2 软岩大变形段施工应重视监控量测工作，提高监测点的布设数量和监测频率，预留变形量随着监控量测进行动态调整。

12.7.3 经过处治后的软岩大变形，应根据设计要求评判处治效果。处治效果良好，方能进行下一步施工。处治效果不佳，应重新评定软岩大变形的等级，或按照进一级的处治措施进行处治。

13 监控量测与超前地质预报

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。

13.1.2 隧道改扩建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,制定具体实施方案。

13.1.3 监控量测方案的制定应结合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。

13.1.4 隧道现场监控量测项目应符合 JTG/T 3660-2020 第 18 章的有关规定。

13.2 既有隧道监测

13.2.1 隧道改扩建施工,应对工程影响范围内的既有隧道制定监测计划,监测内容主要应包括结构状况观测、沉降监测及振动监测等。

13.2.2 隧道改扩建工程结构状况观测符合以下规定:

- 施工前应对既有隧道进行结构状况观测,观测内容主要包括衬砌裂缝、衬砌剥落破损、衬砌与路面渗漏水及路面鼓包或开裂;
- 施工前既有隧道结构状况存在异常时,应及时采取措施进行治理,处治完成后再行施工;
- 涉及爆破施工的改扩建应在施工过程中持续进行结构状况观测,如观测到结构状况存在异常,应立即停止施工,同时采取有效措施对既有隧道进行补强,并加大监测频率,待监测结果处于基本稳定后再行施工。

13.2.3 隧道改扩建既有隧道沉降监测符合以下规定:

- 既有隧道沉降观测点应布置在拱顶与邻近施工隧道一侧的边墙处,断面间距宜为 5 m~10 m,监测频率宜为 1 d/1 次~2 d/1 次;
- 既有隧道沉降监测宜采用全断面监测,并加强对邻近施工隧道一侧的监测;
- 既有隧道与施工隧道为小净距隧道时,监测范围应至少包含同桩号位置前后 5 倍开挖宽度距离;
- 既有隧道与施工隧道为分离式隧道时,监测范围应至少包含与施工断面实际距离在 5 倍开挖宽度内的既有隧道段。

13.2.4 隧道改扩建振动监测符合以下规定:

- 涉及爆破施工的改扩建应对既有隧道进行振动监测,监测范围参考 13.2.3;
- 振动监测的监测点宜与沉降监测布置在同一断面上,监测点不宜少于 3 个,布设位置宜在邻近施工面的边墙一侧;
- 爆破振动安全允许范围应符合 JTG/T 3660-2020 中表 18.5.21 的有关规定。

13.3 隧道改建监测

13.3.1 局部补强、加固、拓宽等需要进行主体结构破除的改建工程,应进行监测,监测内容包括结构状况观测、沉降观测及振动监测等,监测内容及要求参考 13.2 的规定。

13.3.2 隧道改建监测范围应至少包括施工段外延 30 m,监测断面间距宜为 5 m~10 m,监控频率宜为 1 次/1d。如施工过程中遇到水量较大、围岩较差等情况时,应加密监测断面、加大监测频率。

13.3.3 隧道改建施工结束后,可根据监测数据变化趋势选择结束监测,宜持续监测至少 7 d。

13.3.4 隧道改建不宜使用爆破施工,如需进行爆破,宜使用静态爆破、控制爆破等技术,减小围岩扰

动，同时应进行振动监测，测点与沉降监测应布置在同一断面上，每个断面测点不宜少于3个，爆破振动安全允许范围应符合JTG/T 3660-2020中表18.5.21的有关规定。

13.4 隧道增建与隧道扩建监测

13.4.1 变形监测点在扩挖后应尽快完成安装，监测断面测点布置应根据开挖方式确定，监测断面及间距及设置数量应符合JTG/T 3660-2020第18章的有关规定。

13.4.2 洞口段、浅埋段的地表下沉监测，在洞口段、浅埋段施工完工后，应再进行不小于3个月的持续观察，监测频率可减少。

13.4.3 洞内掌子面观察应包括开挖隧道掌子面地质条件的观察、初期支护状态观察、同一断面未开挖部分观察、邻近未拆除二次衬砌观察，应在每次开挖后进行。

13.4.4 洞外观察应包括对洞口段、偏压段、浅埋段及特殊地质地段等施工风险较大的山体、建构筑物的地面开裂、沉降、塌陷、地表水渗漏、地表植被变化以及边仰坡的稳定状态等的观察。

13.4.5 洞内周边收敛变形测线不应少于两道，拱顶下沉测点不应少于2个，扩挖为四车道隧道和连拱隧道扩挖时，拱顶下沉测点不应少于3个。

13.4.6 监测频率除应符合JTG/T 3660-2020第18章的有关规定外，对出现下列情形应加大监测频率：

- 变形速率突然变大，喷射混凝土表面、地表有裂缝出现并持续发展时；
- 下台阶开挖，围岩及支护工作状态发生改变时；
- 拆除临时支撑时。

13.4.7 受力监测宜与变形监测布置在同一个断面，受力监测元件的性能和精度应满足设计及相关规范要求。

13.5 周边环境监测

13.5.1 隧道改扩建施工，应根据设计要求及施工需要对隧道施工影响范围内周边建（构）筑物进行监测。监测内容、监测等级、使用范围、测量方法、测量精度及技术应符合JTG/T 3660-2020第18章的有关规定。

13.5.2 施工期间保持通车的既有隧道，应对典型、敏感裂缝、衬砌裂缝、特殊地段衬砌进行观测，可采用无线发射信号的传感器、摄像镜头等进行观测。

13.6 超前地质预报

13.6.1 隧道改建施工及开挖断面增加不大于5m的隧道扩建施工可沿用既有隧道地质成果。但在富水、岩溶等特殊地质条件下，应使用加深炮孔预测前方地质状况。

13.6.2 隧道增建与隧道扩建施工前，根据实际施工条件编制超前地质预报方案和实施细则，报批后实施。

13.6.3 隧道增建与隧道扩建施工应收集好既有隧道地质资料及施工过程中的超前地质预报，综合现场预报情况，提高预报精准度。

13.6.4 既有隧道与增建隧道距离在地质预报长度范围内的，可利用既有隧道开展超前地质预报工作。

13.6.5 隧道增建与扩建超前地质预报的方法、内容及要求应符合JTG/T 3660-2020第18章的有关规定。

13.7 隧道安全健康监测

13.7.1 隧道健康监测典型断面的选择，应结合水文、地质、衬砌类型及埋深等条件，合理反映区域内隧道的健康情况。

13.7.2 隧道安全健康监测内容应包括边仰坡位移、隧道变形监测、隧道压力监测、隧道应力监测，各

监测项目见表 2。

表2 隧道健康监测项目一览表

监测项目	必测项目	选测项目
边仰坡位移	地表位移	深层水平位移
隧道变形监测	净空收敛	拱顶下沉、墙角下沉、路面隆沉
隧道压力监测	围岩与初期支护间接接触压力、初期支护与二衬支护间接接触压力	孔隙水压力
隧道应力监测	钢筋应力、衬砌应力	衬砌表面应力

13.7.3 隧道安全健康监测工程属长期监测工程，预埋式监测仪器设备使用年限不宜低于 5 年，表面式监测仪器设备使用年限不应低于 3 年。

13.7.4 测量及监测仪器使用前应严格标定，监测点及监测仪器应妥善设置避免损坏。

14 安全措施

14.1 一般规定

14.1.1 隧道改扩建施工应符合 JTG F90 的有关规定。

14.1.2 应对隧道改扩建具体内容与施工工艺进行各分部分项工程风险源辨识，并告知作业人员。

14.2 安全保障措施

14.2.1 破除、扩挖、装渣设备应根据隧道改扩建空间选用，并能提高施工效率，装渣设备装渣能力应与开挖土石方量、破除方量及运输车辆的容量相适应。

14.2.2 施工过程中使用的台架应满足施工需求，并设置防坠装置与警示标识。

14.2.3 隧道扩建宜减少施工作业面，并保持施工作业面的距离，避免相互扰动。

14.2.4 隧道机械拆除作业应安排专人进行指挥。

14.2.5 人工进行辅助拆除作业应在排险完毕后进行，作业过程应随时观察周边稳定情况。

14.2.6 当隧道安全健康监测出现危险数据时，应及时疏散作业人员。

14.2.7 隧道改扩建的拆除作业完成后，应及时清理作业现场。

14.2.8 拆除作业废弃钢筋应妥善清理、运输。

14.2.9 施工现场应利用既有隧道排水系统完善临时排水措施。

14.2.10 改扩建支护过程应采用二氧化碳保护焊进行焊接作业。

14.2.11 隧道照明应采用不超过 36 V 的安全电压，并选用防水灯头和灯罩。

14.2.12 应设置门禁系统并配备值班人员，控制人员与设备出入，人员与设备不准许通过未支护完成的扩挖面。

15 环保措施

15.1 一般规定

15.1.1 隧道改扩建设计应节约用地，宜保护原有植被，妥善处理弃渣和污水。

15.1.2 隧道改扩建施工应采取相应措施防止噪音、粉尘、废水、废弃物等污染源污染环境。

15.1.3 隧道改扩建施工遇有文物时，应停止施工，保护现场，妥善处理，方可继续施工。

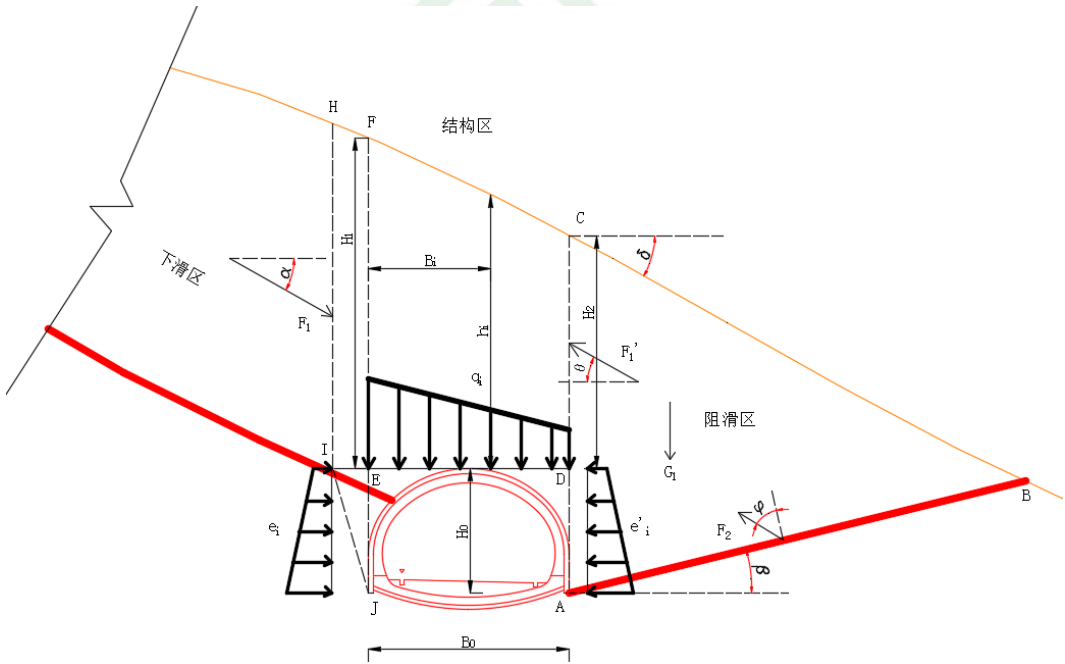
15.2 环境保护措施

- 15.2.1 施工前应建立健全环保管理体系，制定保护环境、节能减排和文明施工的实施方案，减少工程施工过程中对环境的污染。
- 15.2.2 施工临时用地应结合当地土地利用的规划，综合统筹。选址和布局应有利于少占耕地、保护植被和保持原有的地形地貌。
- 15.2.3 施工时应严格控制污染源，施工废水、污水应进行沉淀处理后方可排放；含有有害物质的废水和污水不准许排入禁排区域；施工废油及生活污水应集中回收处理。
- 15.2.4 不应向水域、自然保护区、风景区、农田、草地、下水管道内等环境敏感区倾倒或排放危险废物。
- 15.2.5 对施工产生的弃土、废渣和固体建筑垃圾，应及时运至规定的场地集中堆放和处理；废弃的钢木材料、边角料及其他物品等应集中回收处理。
- 15.2.6 施工现场的主要临时道路宜经常洒水降尘。对工程施工使用的粉末材料，在露天存放时，应采取有效措施防止尘埃飞扬和雨水冲刷流失。
- 15.2.7 在村镇居民区施工时，应采取必要的措施，降低由机械设备或工艺操作产生的噪声。
- 15.2.8 在风景区、自然保护区施工时，宜保护其自然风貌和生态环境，当施工确有需要时，应采取适当的保护措施，降低或减少破坏的程度；施工结束后，应按设计要求进行必要的恢复。
- 15.2.9 工程完成后，应及时清理各种施工垃圾，做到工完场清。

附录 A
(规范性)
洞口横向滑坡荷载

A.1 滑体下切隧道荷载

A.1.1 滑坡直接下切隧道时，可分为下滑区、结构区、阻滑区三个区域，横向滑坡荷载计算简图见图A.1。



图A.1 横向滑坡荷载计算简图

A.1.2 滑坡直接下切隧道时，横向滑坡荷载可根据下滑区、结构区、阻滑区三个区域平衡关系求出隧道的分布荷载，其荷载计算如下：

- a) 下滑区将对结构区产生倾斜向下的力 F_1 ，阻滑区将对结构区产生倾斜向上的荷载 F'_1 ，结构区还受到拱顶岩土体重力 γh_i ，设下滑力 F_1 产生的竖向力方向向下，按照三角形分布在 ID 宽度范围内，阻滑区作用在 EF 范围内，根据力的分布关系， B_i 处的竖向荷载按式(A.1)计算。

$$q_i = \frac{2F_1(\tan(45-\frac{\varphi}{2})H_0+B_0-B_i)\sin\alpha}{(\tan(45-\frac{\varphi}{2})H_0+B_0)^2} - \frac{2B_iF'_1\sin\theta}{B_0} + \gamma h_i \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- q_i ——隧道洞顶竖向荷载，单位为千牛（kN）；
- F_1 ——下滑区隧道顶土体陷落后剩余下滑力合力，单位为千牛（kN）；
- φ ——岩体摩擦角，单位为度（°）；
- H_0 ——隧道高度，单位为米（m）；
- B_0 ——隧道开挖宽度，单位为米（m）；
- B_i ——由下滑一侧隧道边算起至计算点 i 处的距离，单位为米（m）；
- α ——下滑方向角，单位为度（°）；

- F'_1 ——阻滑区阻滑力合力，单位为千牛（kN）；
 - θ ——阻滑区滑面摩擦角，单位为度（°），参照JTG 3370.1的规定取值；
 - γ ——围岩重度，单位为千牛每立方米（kN/m³）；
 - h_i ——结构区下滑侧覆土厚度，单位为米（m）。
- b) 式(A.1)中 F'_1 需要根据平衡关系求出，取阻滑区形成的三角块ABC为隔离对象，根据三力平衡关系，按式(A.2)计算。

$$F'_1 = \frac{\gamma(H_0+H_2)^2(\cos\varphi\tan\beta+\sin\varphi)}{2(\tan\delta+\tan\beta)(\cos(\varphi+\theta)-\sin(\varphi+\theta)\tan\beta)} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- H_2 ——结构阻滑区侧隧道拱顶的覆土厚度，单位为米（m）；
 - β ——阻滑区破裂角，单位为度（°）；
 - δ ——地面倾角，单位为度（°）。
- c) 式(A.2)中 β 为未知参数，设滑坡时阻滑处于极限状态，则可得式(A.3)，又令参数A、B、C分别为式(A.4)、式(A.5)、式(A.6)，可得式(A.7)。

$$\frac{d(F'_1)}{d(\tan\beta)} = 0 \dots\dots\dots (A.3)$$

$$A = \sin(\varphi + \theta) \cos\varphi \dots\dots\dots (A.4)$$

$$B = 2\sin\varphi \sin(\varphi + \theta) \dots\dots\dots (A.5)$$

$$C = \cos(\varphi + \theta) (\tan\delta\cos\varphi - \sin\varphi) + \tan\delta\sin\varphi \sin(\varphi + \theta) \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\tan\beta = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

A、B、C ——参数。

- d) 侧压力系数 λ 按式(A.8)计算，左侧的侧向压力由下滑力竖向力、下滑区破裂角岩体自重、下滑力水平力产生，左侧水平力分布按式(A.9)、式(A.10)计算。

$$\lambda = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \dots\dots\dots (A.8)$$

$$e_1 = \lambda \left(\gamma H_1 + \frac{2F_1 \sin\alpha}{\tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)H_0 + B_0} \right) + \frac{2F_1 H_1 \cos\alpha}{(H_0 + H_1)^2} \dots\dots\dots (A.9)$$

$$e_2 = \lambda \left(\gamma h(H_1 + H_0) + \frac{2F_1 \sin\alpha}{\tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)H_0 + B_0} \right) + \frac{2F_1 \cos\alpha}{H_0 + H_1} \dots\dots\dots (A.10)$$

式中：

- λ ——侧压力系数；
- e_i ——下滑区侧隧道结构受到的侧压力，单位为千帕（kPa）；
- H_1 ——结构下滑区侧隧道拱顶的覆土厚度，单位为米（m）。

- e) 右侧的侧向压力为阻滑力水平分力产生,按照三角分布的原则,右侧水平力分布力按式(A.11)、式(A.12)计算。

$$e'_1 = \frac{2F_1 H_2 \cos\theta}{(H_0 + H_2)^2} \dots\dots\dots (A.11)$$

$$e'_2 = \frac{2F_1 \cos\theta}{H_0 + H_2} \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

e'_i ——阻滑区侧隧道结构受到的侧压力,单位为千帕(kPa)。

A.2 滑体越顶隧道荷载

下滑区滑面越顶隧道时,需要考虑牵引荷载对隧道的影响,荷载可按照隧道破裂影响区内、滑面以下岩体自重荷载和破裂影响区内阻滑力合力的作用计算,见图A.2。

- a) 设阻滑力合力反作用力均匀分布在破裂宽度范围内,再考虑到拱顶到滑面的岩土自重,竖向分布荷载按式(A.13)计算。

$$q_i = \frac{E_1 \sin\eta}{2 \tan(45 - \frac{\varphi}{2}) H_0 + B_0} + \gamma h_i \dots\dots\dots (A.13)$$

- b) 左侧的侧向压力由阻滑力竖向力、滑面以下岩体自重、阻滑力水平力产生,其值按式(A.14)、式(A.15)计算。

$$e_1 = \lambda \left(\gamma H_1 + \frac{E_1 \sin\eta}{2 \tan(45 - \frac{\varphi}{2}) H_0 + B_0} \right) + \frac{2F_1 H_1 \cos\eta}{(H_0 + H_1)^2} \dots\dots\dots (A.14)$$

$$e_2 = \lambda \left(\gamma h(H_1 + H_0) + \frac{E_1 \sin\eta}{2 \tan(45 - \frac{\varphi}{2}) H_0 + B_0} \right) + \frac{2F_1 \cos\eta}{H_0 + H_1} \dots\dots\dots (A.15)$$

式中:

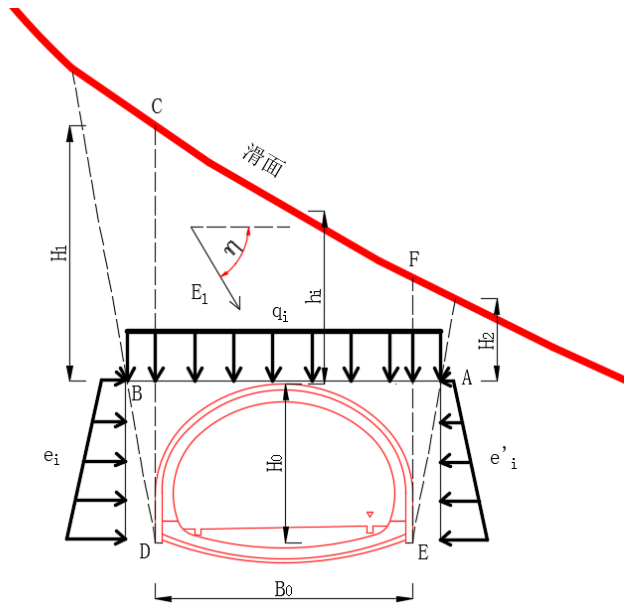
E_1 ——破裂范围内阻滑反力合力,单位为千牛(kN);

η ——阻滑合力水平角,单位为度($^\circ$)。

- c) 右侧的侧向压力由阻滑力竖向力、滑面以下岩体自重,其值按式(A.16)、式(A.17)计算。

$$e'_1 = \lambda \left(\gamma H_2 + \frac{E_1 \sin\eta}{2 \tan(45 - \frac{\varphi}{2}) H_0 + B_0} \right) \dots\dots\dots (A.16)$$

$$e'_2 = \lambda \left(\gamma h(H_2 + H_0) + \frac{E_1 \sin\eta}{2 \tan(45 - \frac{\varphi}{2}) H_0 + B_0} \right) \dots\dots\dots (A.17)$$



图A.2 越顶牵引荷载计算简图

中华人民共和国广西交通运输行业指南

公路隧道改扩建技术规程

DBJT45/T 064-2024

广西壮族自治区交通运输厅统一印刷

版权专有 侵权必究