

JTG

中华人民共和国行业标准

JTG/T****-2021

公路隧道运营安全风险评估
技术规范
(征求意见稿)

Specifications for Risk Assessment of Highway Tunnel Operation Safety

2021-XX-XX 发布

2021-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标准

公路隧道运营安全风险评估技术规范

Specifications for Operation of Highway Tunnel

JTG -2021

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

实施日期：2021 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据交通运输部交公便字〔2018〕254号文《关于做好2019年度公路工程行业标准制修订项目准备工作的通知》的要求，由招商局重庆交通科研设计院有限公司作为主编单位承担《公路隧道运营安全风险评估技术规范》(JTG ***)(以下简称“本规范”)的制定工作。

近年来，我国公路隧道的运营规模迅速增加，与之伴随的运营安全风险也在不断增加；隧道管养人员亟需掌握隧道的运营安全风险状况，科学管控风险的技术管理压力面临严峻挑战。为有效指导公路隧道运营安全风险评估工作，统一技术标准，规范评估流程，从而形成具可比对、可追溯和有价值的评估结论，以针对性地提高公路隧道运营安全技术水平，特制定本规范。

本规范总结提炼了国内公路隧道运营管理的工作经验和做法，吸收借鉴了其他国家（地区）的相关技术标准和技术成果，并立足于隧道土建结构、交通工程及附属设施等隧道内各类设施的角度，遵循“方法科学、指标合理和技术实用”的原则，对运营安全风险评估的方法、等级与分项技术工作等方面作出了规定。

本规范包括11章和4个附录等内容。其中，11章内容分别是：1.总则、2.术语、3.基本规定、4.隧道运营安全风险评估方法、5.隧道运营安全风险等级、6.前期准备、7.隧道运营安全总体风险评估、8.隧道火灾专项风险评估、9.隧道结构灾害专项风险评估、10.隧道其他专项风险评估、11.风险应对措施建议；4个附录分别是：附录A.隧道运营风险评估方法适用性、附录B.隧道运营风险辨识清单、附录C.隧道运营安全总体风险评估表、附录D.隧道运营风险评估报告格式。

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：重庆南岸区学府大道33号，招商局重庆交通科研设计院有限公司，邮编：400067；电话：XXX，传真：XXX；电子邮箱：XXX），以便修订时参考。

主 编 单 位： 招商局重庆交通科研设计院有限公司

参 编 单 位： 同济大学

交通运输部公路科学研究所

陕西省交通建设集团公司

重庆沪渝高速公路有限公司

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

征求意见稿

目 录

| | |
|-----------------------|-----------|
| 1 总 则 | 1 |
| 2 术 语 | 3 |
| 3 基本规定 | 5 |
| 3.1 评估对象 | 5 |
| 3.2 评估体系 | 5 |
| 3.3 评估流程 | 5 |
| 3.4 评估周期 | 6 |
| 3.5 评估报告 | 8 |
| 4 隧道运营安全风险评估方法 | 9 |
| 4.1 一般规定 | 9 |
| 4.2 隧道运营安全总体风险评估方法 | 9 |
| 4.3 隧道火灾专项风险评估方法 | 11 |
| 4.4 隧道结构专项与其他专项风险评估方法 | 13 |
| 5 隧道运营安全风险等级 | 15 |
| 5.1 一般规定 | 15 |
| 5.2 风险分级 | 16 |
| 6 前期准备 | 21 |
| 7 隧道运营安全总体风险评估 | 23 |
| 7.1 一般规定 | 23 |
| 7.2 隐患因素指标 | 24 |
| 7.3 保障因素评估 | 29 |
| 7.4 总体风险计算与分级 | 35 |
| 8 隧道火灾专项风险评估 | 36 |
| 8.1 一般规定 | 36 |
| 8.2 风险识别 | 37 |
| 8.3 风险分析 | 38 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 8.4 风险评价 | 40 |
| 9 隧道结构灾害专项风险评估..... | 41 |
| 9.1 一般规定 | 41 |
| 9.2 风险识别 | 42 |
| 9.3 风险分析 | 43 |
| 9.4 风险评价 | 46 |
| 10 隧道其他专项风险评估..... | 47 |
| 10.1 一般规定 | 47 |
| 10.2 设备失效专项风险评估 | 47 |
| 10.3 地质气象灾害专项风险评估 | 49 |
| 11 风险应对措施建议 | 52 |
| 11.1 一般规定 | 52 |
| 11.2 应对措施 | 52 |
| 附录 A 隧道运营安全风险评估方法适用性..... | 54 |
| 附录 B 隧道运营安全风险辨识清单..... | 56 |
| 附录 C 隧道运营安全总体风险评估表..... | 57 |
| 附录 C.1 隐患因素评分表 | 57 |
| 附录 C.2 保障因素评分表 | 58 |
| 附录 D 隧道运营安全风险评估报告格式 | 64 |
| 本规范用词用语说明..... | 68 |

1 总 则

1.0.1 为规范公路隧道运营安全风险评估工作,以针对性地提高公路隧道运营安全技术水平,特制定本规范。

条文说明

近年来,国内外的公路隧道运营安全事故时有发生,公路隧道的运维管理面临严峻挑战,管理人员亟需掌握隧道的运营安全风险状况;另一方面,我国《公路隧道运营技术规范》明确提出了可根据隧道运营状态评价结果,进行隧道运营风险评价,但尚未给出具体技术规定。事实上,国际上围绕隧道运营安全风险评估已开展了大量基础研究和实践工作,发布了多项技术指南和规范,并趋于成熟;我国在此方向的工作尽管起步相对较晚,但通过业内系列研究和应用,其理论技术和实际应用均已有一定积累,为制订本规范奠定了基础。

故此,为有效指导公路隧道运营安全风险评估工作,统一技术标准,规范评估流程,最终形成具有可比对、可追溯和有价值的评估结论,需要制订本规范。调研结果表明,通过安全风险评估,可达到确定隧道风险源排序与风险等级、为提升隧道运营安全水平提供方向、为编制隧道设施升级改造计划提供依据等效果,最终实现更具针对性地提高公路隧道运营安全技术水平之目的。

1.0.2 本规范适用于高速公路、一级公路的山岭隧道运营安全风险评估。

1.0.3 公路隧道运营安全风险评估应遵循方法科学、指标合理和技术实用的原则。

1.0.4 公路隧道运营安全风险评估应根据交通状况、结构和设施状况、气象地质条件与应急管理状况等隧道运营实际条件,针对以隧道土建结构、交通工程及附属设施为主体的评估对象,开展运营安全层面的风险评估工作。

条文说明

调研结果表明,隧道内的运营安全会受驾驶人员的违规行为、隧道交通条件的变化、外部极端气象地质环境的诱发、国家和行业安全要求的提高、技术规范的修订调整与隧道设施的老化劣化等因素的影响,即与隧道运营安全相关的风险源应包括“人-车-隧道-环境-管理”等五大类因素。然而,只有“隧道土建结构、交通工程及附属设施”是隧道管养单位的主体工作对象,因此风险评估时可考虑多种因素,但其服务的主体对象应仅为隧道内的“基础设施”,而非其他相关对象;本规范风险评估的类型

仅为“安全风险”，而不涉及其他类型风险。

1.0.5 公路隧道运营安全风险评估应根据隧道的实际状况启动相应的风险评估工作。

条文说明

公路隧道运营安全风险评估包括总体风险评估和专项风险评估，二者的启动条件不同，需要结合隧道实际运营状况，根据相应条件开展不同类型的评估工作。

1.0.6 公路隧道运营安全风险评估的技术内容应包括前期准备、风险识别、风险分析、风险评价等，并划分风险等级，据此提出相应的风险应对措施建议。

1.0.7 公路隧道运营安全风险评估应积极而稳妥地采用新理论、新方法、新技术和新设备。

1.0.8 公路隧道运营安全风险评估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 术 语

2.0.1 风险 risk

不确定性对目标的影响。通常用事件后果和事件发生可能性的组合来表示风险。

2.0.2 风险评估 risk assessment

包括风险识别、风险分析和风险评价的全过程。对在役公路隧道存在的各运营安全风险及其影响程度进行综合评估。

2.0.3 总体风险评估 overall risk assessment

根据隧道工程特点、技术状况、外部环境、交通条件和应急管理等因素，开展的公路隧道运营安全总体风险评估。

2.0.4 专项风险评估 special risk assessment

针对隧道火灾、隧道结构灾害和气象地质灾害等典型事件，或总体风险评估等级较高的隧道，开展专项的风险评估。

2.0.5 风险识别 risk identification

发现、确认和描述风险的过程。风险识别包括对风险源、事件及其原因和潜在后果的识别。

2.0.6 风险源 risk source

可能单独或共同引发风险的内在因素。

2.0.7 事件 event

某一类情形的发生或变化。事件可以包括没有发生的情形。

2.0.8 事故 accident

可能造成发生人员伤亡、经济损失、环境影响或工程耐久性降低等的不利事件。

2.0.9 风险分析 risk analysis

理解风险性质、确定风险等级的过程。风险分析是风险评价和风险应对决策的基础。

2.0.10 风险评价 risk evaluation

对比风险分析结果和风险准则，以确定风险和/或其大小是否可以接受或容忍的过程。

2.0.11 风险接受准则 risk acceptance criteria

接受某一特定风险的决定。参与隧道运营的各方对不同等级安全风险的可接受水平。

2.0.11 风险应对 risk treatment

处理风险的过程。处理公路隧道运营安全风险所采取的处置对策、技术方案或措施等，以达到降低风险发生的可能性并减少其不良影响的目的。

2.0.12 剩余风险 residual risk

风险应对之后仍然存在的风险。

2.0.13 沟通和咨询 communication and consultation

风险评估工作时，提供信息、共享信息、获取信息以及与利益相关者展开对话的持续、往复的过程。

2.0.14 交通绩效 traffic performance

交通绩效是指每年使用公路隧道的总车公里数，其定义为单向年交通量（veh） \times 隧道长度（km）。

3 基本规定

3.1 评估对象

3.1.1 公路隧道开展运营安全风险评估时，应逐座、逐洞开展风险评估。

条文说明

同一隧道管养单位可能管辖多座隧道，或者同一路段包括多座隧道；而且即使是同一座隧道，但其左、右两洞的交通条件、结构及设施的技术状况、外部环境等因素也可能存在较大差异。鉴此，应逐座、逐洞开展风险评估。

3.2 评估体系

3.2.1 公路隧道运营安全风险评估的工作体系应包括总体风险评估和专项风险评估。

3.2.2 公路隧道总体风险评估应包括对隧道隐患因素的风险评估和对保障因素的风险评估。

条文说明

从影响隧道行车安全角度出发，将隧道总体风险评估指标分为两类：隐患因素和保障因素。与隧道行车安全隐患有密切关系的指标归为隐患类因素指标，如隧道交通量、大型车通行比例与不利线形条件等。有利于预防或降低隧道运营安全风险的指标归为保障类因素指标，如通风、照明、交通监控和应急管理等。

3.2.3 公路隧道专项风险评估应包括对隧道火灾、隧道结构灾害、设备失效和气象地质灾害等典型风险事件的专项评估。

3.3 评估流程

3.3.1 公路隧道运营安全风险评估工作流程可按图 3.3.1 实施。

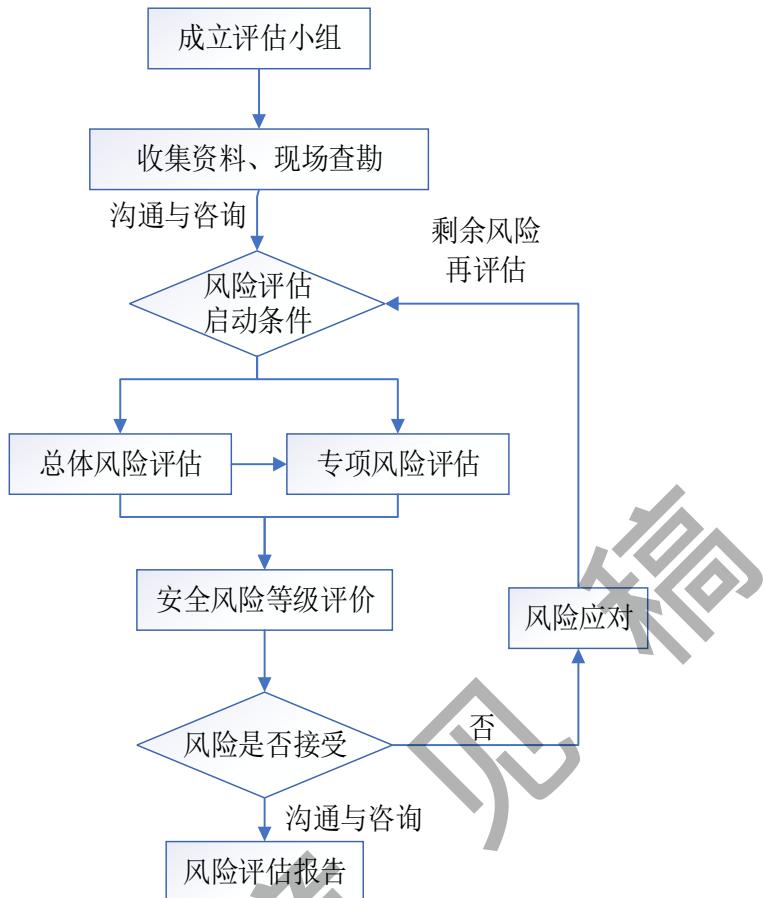


图 3.3.1 公路隧道运营安全风险评估工作流程图

3.4 评估周期

3.4.1 公路隧道运营安全总体风险评估的周期应根据隧道实际状态确定，并符合下列规定：

- 1 公路隧道应在运营通车前进行首次风险评估。
- 2 在役公路隧道的评估周期宜每两年一次，最长不得超过3年一次。

条文说明

1 隧道通车前进行首次风险评估，便于较好地掌握隧道的初始状态，但部分评估的指标需要评估小组根据设计、施工和竣工等资料综合确定，例如交通量可选用工可预测交通量。

2 随着服役时间增长，隧道机电设施的故障率逐年上升、土建结构病害逐年增加，从而导致养护成本增大、交通事故增多、服务水平下降。参考《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）中关于隧道定检周期的规定，确定运营安全风险评估的周期。

3.4.2 在满足下列条件之一时，应启动公路隧道运营安全总体风险评估程序：

- 1 隧道一年之内发生 2 起或以上公安交通管理部门认定的重大或特别重大交通事故。
- 2 隧道的年交通量较上一年增加 20%以上。
- 3 隧道大型车的年交通量较上一年增加 20%以上。
- 4 隧道内大型车或危险货物运输车限制策略发生变化。
- 5 隧道改扩建后。
- 6 隧道管理单位认为有必要时。

条文说明

当隧道发生交通或环境条件较大变化、交通事故易发频发等情况时，应启动隧道运营安全总体风险评估工作。

- 2 “年交通量”为评估时的上一自然年的交通量数据。
- 3 大型车根据《公路工程技术标准》（JTG B01）中的相关规定确定。
- 4 危险货物根据《道路危险货物运输管理规定》（交通运输部令 2019 年第 42 号）中的相关规定确定。

3.4.3 在满足下列条件之一且影响隧道正常运营通行时，应启动专项风险评估程序：

- 1 隧道内火灾造成较大及以上事故后。。
- 2 隧道发生结构灾害后。
- 3 隧道发生气象地质灾害后。
- 4 隧道总体技术状况评定类别为 4 类时。
- 5 隧道管理单位认为有必要时。

条文说明

当隧道土建结构和交通工程及附属设施性能严重衰减劣化，发生火灾、衬砌掉块、结构坍塌、突涌水与路面灾害等灾害事故并影响隧道正常运营通行时，应启动隧道运营安全专项风险评估工作。

4 根据《公路隧道养护技术规范》（JTG H12），当隧道总体技术状况评定类别为 4 类时，应及时采取相关措施。然而，由于技术、经济或社会影响等方面原因，隧道可能仍然不得不“带病”通行，因此需要针对其重大病害进行相应的专项风险评估。

3.4.4 对于运营安全总体风险等级为Ⅲ级或Ⅳ级的隧道，应符合下列规定：

- 1 总体风险的评估周期应为每年1次。
- 2 应结合历史资料分析重要风险源，必要时启动专项风险评估工作。

条文说明

对总体风险等级较高的隧道，应作为风险管理的重要对象，从各个层面加强风险评估工作，以能及时查清其主要风险源和存在的重大风险。

3.5 评估报告

3.5.1 公路隧道运营安全风险评估，应按照数据具时效性、内容全面具体、评估客观合理的原则出具风险评估报告。

条文说明

评估报告是风险评估工作的主要成果，其中隧道运营状况的数据是衡量评估工作准确性和有效性的重要依据，因此收集和采集的数据应具时效性，应能反映评估期当期的隧道实际运营状况。

3.5.2 公路隧道运营安全风险评估报告应包括工程概况、编制目的和依据、风险评估过程与方法、风险评估内容与结论、风险应对措施建议以及相关附件。

条文说明

公路隧道运营安全风险评估报告的格式见附录D。

3.5.3 公路隧道运营安全风险评估报告可作为改善隧道运营安全状况、提升隧道运营安全水平、升级改造隧道既有设施、有序安排隧道维养资金等相关工作的重要依据。

4 隧道运营安全风险评估方法

4.1 一般规定

4.1.1 运营风险评估方法可包括总体风险和专项风险评估过程中所涉及风险发生可能性、发生后果以及风险等级的定性评估方法或定量评估方法。

1 定性评估方法宜包括：专家调查法（包括德尔菲调查）、检查表法、专家经验法和专家信心指数法等。

2 定量评估方法宜包括：指标体系法、层次分析法、场景分析法、统计数据估计法、蒙特卡罗法、主成分分析法、数值模拟法、试验模拟法、神经网络法、模糊数学综合评判法、事故树、事件树以及风险评价矩阵法等。

4.1.2 隧道运营风险评估方法的选择应根据工程特点、评估要求、工程风险类型以及运营数据收集情况选取，可采用定性估计方法和定量估计方法。可按本规范附录A选取。

- 1 定性估计方法可适用于量化数据量少、工程经验较多的场景。
- 2 定量估计方法可适用于风险事件层次多、数据量充分且可量化估算参数的场景。

4.2 隧道运营安全总体风险评估方法

4.2.1 公路隧道运营总体风险评估方法可选用指标体系法、专家调查法、层次分析法、检查表法、事件树等方法。

4.2.2 运营安全总体风险评估方法可根据实际情况来选取合适的评估方法，对于复杂风险事件可综合多种评估方法对风险进行详细评估。

4.2.3 针对隧道运营安全总体风险评估方法，本规范宜采用指标体系法。

4.2.4 指标体系法应根据影响隧道运营安全总体安全的主要因素，建立体现风险特征的评估指标体系，对各评估指标进行数值区间量化分级，并综合考虑各评估指标的权重系数。

条文说明

指标体系法可根据影响隧道运营安全总体安全的主要因素，建立体现风险特征的

评估指标体系，需对各评估指标进行数值区间量化分级，并应综合考虑各评估指标的权重系数。本规范从影响隧道通行安全角度出发，将隧道总体风险评估指标分为隐患因素和保障因素两大类别，并对每个类别细分提出若干评估指标，从而建立评估指标体系。

4.2.5 指标体系法实施流程宜包括：确定评估指标；确定指标分值和权重；建立指标体系；总体风险分值计算；根据分值划分运营隧道总体安全风险等级；撰写评估报告。

条文说明

确定评估指标。运营隧道总体风险评估应根据公路隧道隐患因素和保障因素，同时结合公路隧道行业的安全技术状况筛选确定相应指标。

确定指标分值和权重。根据工程实际情况，确定指标所在的分级区间，然后在分级区间的分值范围内，采用插值法等方法专家集体讨论确定，在确定指标所在的分级区间时遵循最不利原则，越不利的情况取值越大，各项评估指标的权重系数宜采用专家调查法或层次分析法。

建立指标体系。根据确定的指标和权重，建立指标体系表。

经过指标体系法，可定量计算风险分值，划分风险等级，并撰写评估报告。

4.2.6 在采用指标体系法评估运营安全总体风险过程中，可采用专家调查法确定风险发生可能性、发生后果等评估内容。

条文说明

在现场调查基础上，结合专家经验识别出某一特定项目可能遇到的所有风险，列出风险调查表。利用专家经验对可能的风险因素的重要性进行评价打分，最后计算风险分值划分风险等级。

4.2.7 专家调查法实施流程宜包括：确定风险因素权重、确定风险因素的等级值、求出该项风险因素的得分、划分风险等级。

条文说明

确定每个风险因素的权重，以表征其对项目风险的影响程度。

确定每个风险因素的等级值。如按可能性很大、比较大、中等、不大、较小这五个等级，分别以 1.0, 0.8, 0.6, 0.4 和 0.2 打分。

将每项风险因素的权数与等级值相乘，求出该项风险因素的得分。

经过专家调查法的整个流程，会得到该项目风险因素的总分。总分越高说明风险越大，根据分值的不同划分可以得到风险分级。

4.2.8 在采用指标体系法评估运营安全总体风险过程中，可采用层次分析法确定风险发生可能性、发生后果以及指标权重等评估内容。

条文说明

层次分析法能把定性因素定量化，并能在一定程度上检验和减少主观影响，使评价更趋科学化。

4.2.8 层次分析法实施流程宜包括：建立递阶层次结构模型、构造判断矩阵、计算判断矩阵的最大特征值和对应的特征向量、一致性检验、确定因素权重。

条文说明

建立递阶层次结构模型。首先明确分析问题，划分和选定有关风险因素，然后建立风险因素分层结构。层次结构模型一般包括最高层、中间层和最底层。

构造判断矩阵。为了能够把采集到的主观信息进行统一的量化，在构造各个层次的判断矩阵时采用 1-9 的标度将思维判断数量化来反映多数人的判断能力，保证被比较元素在所考虑的属性上有同一个数量级或比较接近。采用两两比较方法构造判断矩阵。

确定因素权重。选取最大特征值对应特征向量作为同层风险因素的相对权重，可为指标体系法提供科学的指标权重。

4.3 隧道火灾专项风险评估方法

4.3.1 隧道火灾专项风险评估方法可选用检查表法、专家调查法、事件树法、统计数据估计法、场景分析法、数值模拟法、风险矩阵法和指标体系法。

4.3.2 针对隧道火灾专项风险评估方法，本规范宜采用事件树法来确定风险发生的可能性。

条文说明

事件树方法是一种从原因推论后果的系统分析方法。它是一种按事故发生的时间顺序由初始事件开始推论可能的后果，从而进行危险源辨识的方法。

4.3.3 事件树实施流程宜包括：确定初始事件、列举后续事件、建造事件树、定量

计算。

条文说明

确定初始事件。初始事件是事件树中在一定条件下造成事故后果的最初原始事件。在应用事件树分析法对事故进行分析时，首先通过专家意见、现场调查、文献搜集及回顾等来确定所有可能事故原因事件。

列举后续事件。找出与初始事件有关的环节事件，逐一列举由此产生的后续事件。

建造事件树。根据这些初始事件和环节事件建造事件树，从左到右编制与展开事件树。

定量计算。根据各分支节点事件的概率，再计算初始事件概率与各分支节点概率之积，求得每个最终事件结果的概率。

4.3.4 在采用指标体系法和事件树法评估隧道火灾专项风险过程中，可采用场景分析法确定风险发生后果。

条文说明

场景分析法是一种反映和评价风险的常用分析方法。其基本思想是将各种不确定因素转换为多个确定因素的组合，每一种组合代表一种场景。场景分析法可以比较生动地描绘出事件触发时的情景，在风险评估过程中通过分不同的场景组合，进而对每一种场景组合的后果进行评估。

4.3.5 场景分析法实施流程宜包括：收集事故案例，确定基本流和备选流、确定基本流和备选流组合的场景、对场景分析火灾后果损失。

条文说明

通过以往的隧道火灾事故案例分析，确定隧道火灾事件的基本流和备选流。

通过不同的基本流和备选流的组合，确定各种不同的场景。

对每一种不同的场景进行后果计算，得到每一种不同组合的损失。对于火灾分析中宜采用数值模拟的方法进行后果计算。

4.3.6 在采用指标体系法和事件树法评估运营隧道火灾专项风险过程中，可采用风险矩阵法或指标体系法进行风险等级确定。

条文说明

风险矩阵法是一种能够结合危险发生的概率和损失的严重程度来综合评估风险

大小的定性风险评估方法。指标体系法具体见 4.2 节相关条款。

4.3.7 风险矩阵法实施流程宜包括：估计风险事故发生概率并分级、估计风险事故损失并分级、根据风险概率和损失等级建立风险等级矩阵、提出风险接受准则和控制策略。

条文说明

依据风险事故发生概率的大小，进行分级，如表 4-1。

表 4-1 风险发生概率等级标准

| 等级 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 | 五级 |
|------|-----|------|------|------|----|
| 事故描述 | 不可能 | 很少发生 | 偶尔发生 | 可能发生 | 频繁 |

风险事故一旦发生将对工程项目、第三方或周边环境造成损失，考虑损失后果严重程度的不同，建立损失后果的等级标准，如表 4-2。

表 4-2 风险损失后果等级标准

| 等级 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 | 五级 |
|----|-----|-----|----|------|-----|
| 描述 | 可忽略 | 需考虑 | 严重 | 非常严重 | 灾难性 |

根据不同的风险概率等级和损失后果等级，建立风险等级评价矩阵。

表 4-3 风险评价矩阵

| 风险 | | 事故损失 | | | | |
|------|----|------|----|----|----|----|
| | | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 | 五级 |
| 发生概率 | 一级 | | | | | |
| | 二级 | | | | | |
| | 三级 | | | | | |
| | 四级 | | | | | |
| | 五级 | | | | | |

提出风险接受准则和相应的控制对策。风险接受准则作为可接受风险水平的评判标准，其评判对象就是通过风险分析方法得出的风险水平。

4.4 隧道结构专项与其他专项风险评估方法

4.4.1 隧道结构专项风险评估方法可选用专家调查法、数值模拟法和层次分析法。

4.4.2 针对隧道结构专项风险评估方法，本规范宜采用专家调查法和数值模拟法。

条文说明

专家调查法介绍如条文 4.2.6 和条文 4.2.7 所示，本条主要介绍数值模拟法。数值

模拟又称数值分析方法，是用计算机程序来求解数学模型的近似解，又称计算机模拟，是在当今工程分析中获得最广泛应用的数值分析计算方法。数值模拟法一般分为差分法和有限元法。

4.4.3 数值模拟法实施流程宜包括：确立研究问题、建立模型、选定参数、计算分析隧道结构响应、评价强度折减系数、结合蒙特卡罗方法可计算结构失效概率和相应损失。

条文说明

收集工程地质相关资料，确立研究问题；建立和工程实际相对应的数值模型；选取合适的本构方程、输入相关地层参数和结构参数；结合隧道力学计算方法，研究隧道结构力学响应；通过强度折减法分析强度折减系数；利用蒙特卡洛方法，基于数值模拟对隧道结构的计算分析，可提出风险事件的发生概率，并根据可能造成的损失进行定量化风险评估。

4.4.4 运营隧道其他专项风险评估方法可选用指标体系法进行风险评估。

5 隧道运营安全风险等级

5.1 一般规定

5.1.1 应根据运营安全总体风险分析结果，或火灾、结构、设备失效和地质气象灾害等专项风险分析结果，与预先设定的风险分级标准相比较，确定公路隧道运营安全风险的等级。

条文说明

开展隧道总体风险和专项风险评估时，在风险评价环节应依据风险分析结果，结合风险评估类型和采用的评估方法特征，依据风险分级标准（不同的评估方法所采用的风险分级标准可能存在差异），明确隧道运营安全风险等级，以支撑风险控制措施的确定。

5.1.2 公路隧道运营安全风险分级应综合考虑隧道风险事件发生的可能性和造成后果的严重程度等因素，结合风险控制目标，选用定性或定量方法确定分级标准。

条文说明

隧道运营安全风险是风险事件发生可能性与严重程度的组合，进行风险等级的划分时应综合考虑风险事件发生的概率和产生后果的严重程度。风险分级标准的确定方法与采用的评估方法有关，可针对具体的风险类型，结合风险控制目标的高低，采用多种方法确定风险等级阈值。

5.1.3 公路隧道运营安全风险分级可采用风险矩阵、风险分值、区域典型百分位风险分值或事故率分布等方法确定分级标准。条件受限资料缺少时，可根据经验确定风险等级。

条文说明

风险分级标准的确定与获取数据资料的完整程度、采取的评估方法和评估指标体系均有较大关系。当数据资料充足，能够量化确定风险事件发生的可能性和严重程度时，应建立风险矩阵确定风险分级。若无法获取可能性和严重程度数据，针对评估对象特性可建立评估指标体系，采用打分的形式确定风险分值，结合专家经验依据风险分值确定分级标准。也可基于区域隧道总体风险情况，进行风险指标计算分值、隧道事故率等的累积频率分析，采用 30%、50% 等累计百分位值作为风险等级阈值等。对

于尚未开通运营的隧道或隧道相关数据资料缺少时，也可采用专家经验方式，综合考虑隧道设施、运行环境、地理位置等因素，从隧道发生事故的可能大小和可能造成的事故严重程度等两方面进行综合考量，直接对风险等级进行判定。

5.1.4 公路隧道运营安全风险可接受准则可根据隧道重要程度、设施总体条件和区域经济发展水平综合确定。

条文说明

无论是总体运营风险还是专项风险，风险控制策略和控制措施的选取与风险可接受准则的确定密切相关。风险接受准则直接影响风险控制的成本开销。我国幅员辽阔，区域间经济水平和隧道运行环境特征差异大，隧道在路网中的重要程度和社会影响也存在一定差异，对于可接受准则，各地可根据实际情况和风险控制目标综合确定。

5.2 风险分级

5.2.1 公路隧道运营安全风险分为四级，分别用罗马数字 I、II、III、IV 表示。I 级为低风险，II 级为中风险，III 级为较高风险，IV 级为高风险。I、II、III、IV 级分别以绿色、黄色、橙色、红色表示。

1 隧道风险事件发生的可能性可通过风险事件发生的历史数据调查、故障树和事件树预测或专家经验估计等方法确定。隧道运营安全风险事件可能性分为 5 级，分级标准如表 5.2.1-1。

表 5.2.1-1 公路隧道运营安全风险事件可能性分级

| 可能性等级 | 定量标准 | 定性标准 |
|-------|-----------------|---------|
| 1 | <0.0003 | 几乎不可能发生 |
| 2 | [0.0003, 0.003) | 很少发生 |
| 3 | [0.003, 0.03) | 偶尔发生 |
| 4 | [0.03, 0.3) | 可能发生 |
| 5 | ≥0.3 | 频繁发生 |

注：定量标准为风险事件发生的概率值，当概率值难以取得时，可用风险事件年发生频率代替。可能性等级应优先采用定量标准确定，当无法进行定量计算时，可采用定性标准确定。

2 隧道风险事件后果可采用风险事件导致的伤亡人数、直接经济损失等指标，可利用历史统计数据、专家调查等方法确定。隧道运营安全风险事件后果分为 5 级，分级标准如表 5.2.1-2。当多种后果同时存在时，应采用就高原则确定风险后果等级。

表 5.2.1-2 公路隧道运营安全风险事件后果分级

| 后果等级 | 人员伤亡分级标准 | 直接经济损失分级标准 |
|------|--|----------------------|
| 1 | 重伤人数 5 人以下 | 500 万元以下 |
| 2 | 3 人以下死亡(含失踪)或 5 人以上 10 人以下重伤 | 500 万元以上 1000 万元以下 |
| 3 | 3 人以上 10 人以下人员死亡(含失踪)或 10 人以上 50 人以下重伤 | 1000 万元以上 5000 万元以下 |
| 4 | 10 人以上 30 人以下人员死亡(含失踪)或 50 人以上 100 人以下重伤 | 5000 万元以上 10000 万元以下 |
| 5 | 30 人以上人员死亡(含失踪)或 100 人以上重伤 | 10000 万元以上 |

注：表中所称的“以上”包括本数，所称的“以下”不包括本数。

3 根据隧道运营安全风险事件发生的可能性和后果等级，依据风险矩阵确定风险分级，如表 5.2.1-3。条件受限资料缺少时，可根据经验确定风险等级，如表 5.2.1-4。

表 5.2.1-3 公路隧道运营安全风险矩阵分级

| 风险等级 | | 风险事件后果 | | | | |
|-------------|---|--------|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 风险事件 可能性 | 1 | I | I | II | II | III |
| | 2 | I | II | II | III | III |
| | 3 | II | II | III | III | IV |
| | 4 | II | III | III | IV | IV |
| | 5 | III | III | IV | IV | IV |

表 5.2.1-4 公路隧道运营安全风险专家经验分级

| 风险等级 | 风险等级描述 | 定性分级标准 |
|-------|--------|---------------------|
| IV 级 | 高风险 | 风险事件发生可能性非常大，后果非常严重 |
| III 级 | 较高风险 | 风险事件发生可能性较大，后果较严重 |
| II 级 | 中风险 | 风险事件发生可能性一般，后果一般 |
| I 级 | 低风险 | 风险事件发生可能性较小，后果轻微 |

条文说明

结合国内外隧道风险评估情况，保持与设计阶段和施工阶段隧道风险评估等级划分的一致性，公路隧道总体运营安全风险和专项运营安全风险均按四级进行划分。根据《公路水路行业安全生产风险管理暂行办法》规定，风险等级由高到低依次分为重大、较大、一般和较小四个等级。

1 风险事件发生的可能性可以采用隧道历史风险事件（如交通事故等）每年或每公里发生的次数等指标（如万车公里事故率、百万车公里事故率等）。也可利用故

障树和事件树来预测风险事件发生的概率。专家经验估计也是一种重要的方法，可选择具有隧道运营安全经验的专家，通过提供隧道线形设计指标、交通特性、机电设施配置和使用性能、交通事故情况、土建结构情况和日常运维情况等信息，采用德尔菲法、层次分析法等手段获取专家经验。参考 ITA 发布的《Guidelines for Tunneling Risk Management》规定，给出了隧道运营安全风险事件可能性分级标准。

2 风险事件后果可以采用隧道历史风险事件导致的重伤或死亡人数、经济财产损失等指标。后果分级可采用历史风险事件在人员伤亡、经济损失方面的数据进行统计分析或结合专家调查等方法确定。

参照《生产安全事故报告和调查处理条例》（中华人民共和国国务院令第 493 号）和《公路桥梁和隧道工程设计安全风险评估指南》相关规定，提出了风险事件导致的人员伤亡和经济损失的分级标准。

3 参考国际隧道协会《Guidelines for Tunneling Risk Management》相关规定，确定了风险矩阵分级标准。对于特殊情况下尚未开通运营的隧道或隧道相关数据资料缺少时，可根据风险事件对运营安全的影响程度，结合专家经验采用定性方法确定风险等级。

5.2.2 公路隧道运营安全总体风险评估分级标准应综合考虑隧道总体运营特征、几何设计、交通工程与附属设施设置和使用性能、运营管理和发展水平等因素综合确定。总体风险等级划分和对应的风险描述如表 5.2.2。

表 5.2.2 隧道运营安全总体风险等级划分

| 风险等级 | 风险等级描述 | 风险分值范围 |
|-------|--------|----------|
| IV 级 | 高风险 | <70 |
| III 级 | 较高风险 | [70, 80) |
| II 级 | 中风险 | [80, 90) |
| I 级 | 低风险 | ≥90 |

条文说明

公路隧道总体运营安全风险评估综合考虑隧道技术状况、外部环境、交通条件和应急管理等因素，采用指标体系法进行评估。总体运营风险不同等级风险分值阈值特别是 III 级和 IV 级风险阈值的确定，直接影响运营管理单位风险处置范围和程度。因此，分级阈值的确定，除考虑计算分值因素外，还应考虑国内隧道相关规范相关指标要求、隧道交通事故和经济发展水平等因素，合理确定分级标准。总体运营安全风险评估本规范推荐采用指标体系法，总体风险分值是对各风险指标项和安全保障指标项

的综合衡量，风险等级主要依据风险分值进行划分。

5.2.3 公路隧道专项风险分级标准应综合考虑隧道火灾事故、结构事故、设备失效和气象地质灾害事故等评估对象特征，结合区域内隧道总体运营情况和经济发展水平等因素综合确定。

- 1 隧道火灾专项风险评估采用风险矩阵确定风险等级，如表 5.2.1-3。
- 2 隧道结构灾害专项风险评估风险等级划分和对应的风险描述如表 5.2.3-1。

表 5.2.3-1 隧道结构灾害风险等级划分

| 风险等级 | 风险等级描述 | 结构安全系数 |
|-------|--------|--------|
| IV 级 | 高风险 | 不可接受 |
| III 级 | 较高风险 | 有条件接受 |
| II 级 | 中风险 | 有条件接受 |
| I 级 | 低风险 | 可接受 |

- 3 隧道机电设施失效专项风险评估风险等级划分和对应的风险描述如表 5.2.3-2。

表 5.2.3-2 隧道机电设施失效风险等级划分

| 风险等级 | 风险等级描述 | 设备完好率 | | |
|-------|--------|------------|-----------|-----------|
| | | I类 | II类 | III类 |
| IV 级 | 高风险 | <90% | <85% | <80% |
| III 级 | 较高风险 | [90%, 95) | [85%, 92) | [80%, 85) |
| II 级 | 中风险 | [95%, 100) | [92%, 98) | [85%, 95) |
| I 级 | 低风险 | 100% | ≥98% | ≥95% |

- 4 隧道地质气象灾害专项风险评估风险等级划分和对应的风险描述和应对策略如表 5.2.3-3。

表 5.2.3-3 隧道地质气象灾害风险等级划分

| 风险等级 | 风险等级描述 | 风险分值范围 |
|-------|--------|--------|
| IV 级 | 高风险 | 4 |
| III 级 | 较高风险 | 3 |
| II 级 | 中风险 | 2 |
| I 级 | 低风险 | 1 |

条文说明

公路隧道专项风险评估主要包括火灾、结构灾害、设备失效和地质气象灾害几类。各专项风险评估采用的评估指标存在一定差异，确定各专项风险分级标准时，应根据

专项评估采用的评估方法，针对性的确定风险分级标准，同时也应考虑国内隧道相关规范相关指标要求、隧道交通事故和经济发展水平等因素。

1 隧道火灾专项风险评估可采用风险矩阵、火灾数值模拟仿真等评估方法，风险等级可根据火灾风险事件发生的可能性分级和严重程度分级依据风险矩阵确定风险等级，也可通过建立针对性的 F-N 曲线，结合 ALARP 原则来确定风险等级。本规范推荐采用风险矩阵法确定风险等级。

2 隧道结构灾害专项风险评估重点针对剥落掉块、结构失稳、突涌水、路面灾害和隧道结构病害耦合等病害进行评估，风险等级主要依据综合各类结构灾害的结构安全系数进行划分。

3 隧道机电设施失效专项风险评估重点结合《公路隧道养护技术规范》相关规定，针对不同机电设施分类，采用设备完好率作为风险分级标准。

4 隧道地质气象灾害专项风险评估主要采用指标体系法，分别针对不同的地质灾害和气象灾害特性，确定相应的风险分值，风险等级主要依据风险分值进行划分，地质灾害和气象灾害风险分级标准相同。

6 前期准备

6.0.1 前期准备应包括以下内容:

- 1 成立运营安全风险评估小组。
- 2 制定运营安全风险评估工作方案。
- 3 收集资料。
- 4 进行现场查勘, 必要时 开展检测或试验工作。
- 5 沟通与咨询。

6.0.2 公路隧道运营安全风险评估工作应由具备相应资质和业绩的单位承担。

条文说明

承担公路隧道运营安全风险评估工作的评估单位需要具有法人资格、具备相应专业人员和良好资信以及具备设计与评估的相关经验和相应资质。评估单位组建的评估小组由隧道土建结构、通风、照明、消防、监控、交通工程等不同专业的人员组成, 通常不少于 7 人(含 7 人)且为单数。评估小组负责人需要由从事隧道运营技术工作(设计、检测或科研)十五年以上的经验且具有正高级技术职称的人员担任。评估小组成员需要具有从事隧道运营技术工作(设计、检测或科研)七年以上的经验且具有高级及以上技术职称。

6.0.3 收集资料宜包括下列内容:

- 1 隧道设计资料, 隧道两端接线道路 10km 范围内的路线资料。
- 2 隧道交工/竣工验收的相关资料。
- 3 其他相关的勘察设计资料。
- 4 隧道养护维修、检测、监测资料。
- 5 交通量相关资料。
- 6 隧道管理模式、应急管理等相关资料。
- 7 运营安全事故等相关资料。
- 8 可能存在业务联系或影响的相关部门与第三方等信息。
- 9 其他与评估相关的资料。

条文说明

进行公路隧道运营安全风险评估时要掌握评估隧道相关的和最新的信息, 必要

时，需要包括适用的背景信息。

6.0.4 公路隧道运营风险评估应开展现场查勘，并应符合下列要求：

- 1 现场查勘应对土建结构的外观状况、隧道交通工程及附属设施的外观和运行状态进行一般性定性检查。
- 2 隧道土建结构查勘项目宜包括洞口、衬砌、路面、排水设施、标志、标线等。
- 3 隧道交通工程及附属设施查勘项目宜包括照明设施、供配电设施、交通监控设施、通风设施、火灾消防设施、应急救援设施等。
- 4 现场查勘内容应符合《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）的规定。
- 5 对于需要进一步查明缺损、病害、交通工程及附属设施状况的隧道，应开展专门的检测、试验与分析等工作。

条文说明

1~3 每座隧道由于不同自然环境的影响以及服役后运营环境的变化，其风险源不尽相同。例如每座隧道所发生的结构破损情况和设施状况都是不一样的。因此，在开展隧道运营安全风险评估工作时有必要对隧道现场进行查勘。通过查勘可初步了解土建结构缺损、病害或其它异常情况，以及隧道交通工程及附属设施是否处在正常工作状态和是否存在故障。

4 隧道内部分设施的状况需要通过检测才能掌握详细情况。土建结构需要检测的内容包括：隧道衬砌破损情况、洞内排水设施的缺损情况、路面的损坏情况等；交通工程及附属设施需要检测的内容包括：路面平均亮度、亮度纵向均匀性、侧墙平均亮度、通风风速等。

6.0.5 在前期准备过程中，评估单位应与运营管理等相关单位进行沟通与咨询。

条文说明

评估小组在与运营管理单位等相关单位进行沟通与咨询工作中，需要了解运营管理单位的组织结构、隧道管养模式、管养资金来源、近年来隧道运营状况等内外部环境信息。

7 隧道运营安全总体风险评估

7.1 一般规定

7.1.1 公路隧道运营安全总体风险评估应考虑隧道技术状况、外部环境、交通条件和应急管理等因素。

7.1.2 总体风险评估宜采用指标体系法，且评估时应符合下列要求：

- 1 总体风险评估应根据公路隧道隐患因素和保障因素，提出评估指标体系。
- 2 总体风险评估应根据公路隧道行业的安全技术状况筛选确定相应指标。
- 3 风险评估指标应确定权重，权重系数可采用专家调查法、层次分析法等。
- 4 评估指标体系应根据最新安全规定、技术进步趋势与实际条件状况，实施周期性的动态调整。
- 5 评价项目有缺项的，其缺项评价项目的实得分应按式（7.1.2）计算。

$$\text{缺项评价项目的实得分} = \frac{\text{可评项目的实得分之和}}{\text{可评项目的应得分之和}} \times 100 \quad (7.1.2)$$

条文说明

总体风险评估的指标及其体系，应综合考虑国家安全法律法规的更新、行业技术规范的修订、隧道的安全技术状况、隧道的事故库与案例以及相关安全技术的进步等因素，适时进行动态修正与调整。

7.1.3 总体风险评估应按下列步骤实施：

- 1 根据隧道实际情况开展隐患因素指标的评价，得到隐患因子值。
- 2 根据隧道实际情况开展保障因素指标的评价，得到保障因子值。
- 3 计算总体风险分值。
- 4 划分总体风险等级。

7.1.4 在评估周期内，当公路隧道的总体技术状况被评定为4类及以上时，应整改完成后，方可进行总体风险评估。

条文说明

依据现行的《公路隧道养护技术规范》（JTG H12），养护检测单位会根据其定检等相关结果评定公路隧道的技术状况等级。当隧道的总体技术状况被评定为4类或

5类时，此类隧道已不满足正常运营的基本要求，应尽快整治维修，并及时实施交通管制甚至关闭隧道。

7.2 隐患因素指标

7.2.1 公路隧道隐患因素应根据隧道实际情况确定，一般应包括隧道重要度、交通绩效、车道交通量、大型车交通绩效、危险货物运输车辆通行、路面条件、隧道线形、隧道土建结构和其它风险等各项指标。

条文说明

公路隧道运营风险的评估指标包括隧道重要度、交通绩效、车道交通量、大型车比例、危险货物运输车辆通行、路面类型、隧道线形、隧道土建结构和其它风险。在指标分类的基础上，应根据各指标的具体情况进行评估。隐患因素评分表格详见附录C.1。

7.2.2 公路隧道隐患因子计算应符合下列要求：

1 隐患因子应按式（7.2.1）计算：

$$JH = \begin{cases} \frac{1}{375} \times \sum_{i=1}^n \gamma_i Y_i + 0.6, & (\sum_{i=1}^n \gamma_i Y_i \leq 75) \\ 1, & (\sum_{i=1}^n \gamma_i Y_i > 75) \end{cases} \quad (7.2.2)$$

式中： Y_i ——表示公路隧道各隐患因素的分项评分值；

γ_i ——表示公路隧道各隐患因素的分项权重，%；

$\sum_{i=1}^n Y_i$ ——表示隐患因子总分值。

2 公路隧道隐患因素各分项权重宜按表 7.2.2 的规定确定。

表 7.2.2 公路隧道隐患因素评估指标及其相对权重

| i | R_j | γ_i |
|---|------------|------------|
| 1 | 隧道重要度 | 8 |
| 2 | 交通绩效 | 18 |
| 3 | 车道交通量 | 10 |
| 4 | 大型车交通绩效 | 16 |
| 5 | 危险货物运输车辆通行 | 8 |
| 6 | 路面条件 | 10 |
| 7 | 平纵线形 | 10 |

| | | |
|---|------|----|
| 8 | 土建结构 | 8 |
| 9 | 其它风险 | 12 |

条文说明

1 该公式系借鉴欧盟隧道安全研究的相关研究成果，并结合我国公路隧道的技术状况实情而拟定。

2 各项权重系结合隧道事故调查、编制前期调研和专家调查等综合确定。

7.2.3 隧道重要度评价指标宜按表 7.2.3 的规定确定。

表 7.2.3 隧道重要度评价指标

| 评价指标 | 定性定量指标 | 风险分值 |
|-------|-------------|------|
| 隧道重要度 | 国家高速公路网 | 100 |
| | 地方高速公路网 | 50 |
| | 具备干线功能的一级公路 | 30 |
| | 一级公路用作集散公路时 | 20 |

7.2.4 交通绩效风险评价指标宜按表 7.2.4 的规定确定。

表 7.2.4 交通绩效评价指标

| 评价指标 | 定性定量指标 (单位：百万车公里/年) | 风险分值 |
|------|------------------------|------|
| 交通绩效 | 0~1 | 0 |
| | 1~2 | 10 |
| | 2~5 | 20 |
| | 5~10 | 30 |
| | 10~15 | 40 |
| | 15~20 | 50 |
| | 20~30 | 60 |
| | 30~40 | 70 |
| | 40~50 | 80 |
| | 50~70 | 90 |
| | ≥70 | 100 |

条文说明

交通绩效代表车辆使用隧道的总里程数，由交通量和隧道长度共同决定，综合反应公路隧道的使用情况。交通量越大，隧道内车辆之间相互影响的频率增加，事故发生概率也随之增大；隧道越长越不利于救援疏散与通风排烟，容易引发二次事故。交通量采用自然车辆数（单位为 veh），通常采用评估前一个自然年的交通量；如果统计的交通量不满一年，可计算已统计交通量的日平均交通量。

7.2.5 车道交通量指每车道年平均日交通量。车道交通量评价指标宜按表 7.2.5 的规定确定。

表 7.2.5 车道交通量评价指标

| 评价指标 | 定性定量指标 (单位: pcu/d×车道) | 风险分值 |
|-------|--------------------------|------|
| 车道交通量 | 0~2000 | 0 |
| | 2001~4000 | 20 |
| | 4001~8000 | 40 |
| | 8001~15000 | 60 |
| | 15001~25000 | 80 |
| | >25000 | 100 |

条文说明

交通量折合成当量小客车(单位为 pcu)。参考 EURO TAP 中关于单车道日交通量的评价标准以及公路工程技术标准(JTG B01)综合确定。

7.2.6 大型车交通绩效宜按表 7.2.6 的规定确定。

表 7.2.6 大型车交通绩效评价指标

| 评价指标 | 定性定量指标 (单位: 百万车公里/年) | 风险分值 |
|-------------|-------------------------|------|
| 大型车 交通绩效 | 0 | 0 |
| | 0~1 | 10 |
| | 1~2 | 20 |
| | 2~5 | 30 |
| | 5~10 | 40 |
| | 10~15 | 50 |
| | 15~20 | 60 |
| | 20~30 | 70 |
| | 30~40 | 80 |
| | 40~50 | 90 |
| | >50 | 100 |

注: 大型车指的是超过 40 座的客车和和载质量大于 10 吨的货车。

条文说明

交通量采用自然车辆数(单位为 veh), 取值参考 7.2.4 条文说明。

7.2.7 危险货物运输车辆通行风险评价指标宜按表 7.2.7 的规定确定。

表 7.2.7 危险货物运输车辆通行风险评价指标

| 评价指标 | 定性定量指标 | 风险分值 |
|------|--------|------|
|------|--------|------|

| | | |
|------------|--------|-------|
| 危险货物运输车辆通行 | 不允许通行 | 0 |
| | 有管制的通行 | 20~50 |
| | 自由通行 | 100 |

条文说明

若公路隧道允许危险货物运输车辆通行，当发生的运营安全事故牵涉危险货物运输车辆时，产生危化品泄漏和火灾等严重事故的概率将会增加。限制危险货物运输车辆通行的方式主要有限时间段、限路线、限车速、专车押行等方式，采用专车押行限制通行方式取低分值；采用限时间段、限路线、限车速其中任一一种方式取高分值，采用任两种方式去中间分值。

7.2.8 路面条件风险评价指标宜按表 7.2.8 的规定确定。

表 7.2.8 路面条件风险评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 风险分值 |
|------|----------------|-----------|------|
| 路面条件 | 路面类型 | 沥青路面 | 0 |
| | | 水泥混凝土路面 | 20 |
| | 路面损坏状况指数 (PCI) | ≥ 90 | 0 |
| | | 80~90 | 5 |
| | | 70~80 | 10 |
| | | 60~70 | 20 |
| | | ≤ 60 | 30 |
| | 路面跳车指数 (PBI) | ≥ 90 | 0 |
| | | 80~90 | 5 |
| | | 70~80 | 10 |
| | | 60~70 | 15 |
| | | ≤ 60 | 20 |
| | 路面抗滑性能指数 (SRI) | ≥ 90 | 0 |
| | | 80~90 | 5 |
| | | 70~80 | 10 |
| | | 60~70 | 20 |
| | | ≤ 60 | 30 |

注：针对隧道路面类型路面损坏状况指数 (PCI) 、路面跳车指数 (PBI) 、路面抗滑性能指数 (SRI) 分别进行风险评价，并将其对应的风险分数进行累加得到隧道路面条件的风险分数，相关系数求取参考《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）。

条文说明

路面条件反映公路隧道路面平整情况与通行条件，是决定隧道服务质量的重要因素。路面损坏、平整度、跳车、磨损、抗滑性能是路面技术状况评定的关键，选取与

运营安全关系密切的路面损坏状况指数（PCI）、路面跳车指数（PBI）、路面抗滑性能指数（SRI）作为评价指标。

7.2.9 隧道线形评价指标宜按表 7.2.9 的规定确定。

表 7.2.9 隧道线形评价指标

| 评价指标 | 定性定量指标 | 风险分值 |
|------|--------------|------|
| 隧道线形 | “连续长下坡”+平面曲线 | 100 |
| | “连续长下坡”+平面直线 | 50 |
| | 纵坡大于 3%+平面曲线 | 20 |

注：“连续长下坡”是指隧道位于连续的长下坡路段，或连续长下坡路段的终点据隧道行车方向进口小于 6S 行程。

条文说明

连续长下坡可参照《公路路线设计规范》（JTG D20）8.3 节的相关规定确定，或被运营管理单位视为“连续长下坡”的路段。

7.2.10 土建结构风险评价指标宜按表 7.2.10 的规定确定。

表 7.2.10 土建结构风险评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 技术状况值 | 风险分值 |
|------|----------|-------|------|
| 土建结构 | 洞口 | 4 或 3 | 15 |
| | | 2 | 8 |
| | | 1 或 0 | 0 |
| | 洞门 | 4 或 3 | 5 |
| | | 2 | 3 |
| | | 1 或 0 | 0 |
| | 衬砌 | 4 或 3 | 40 |
| | | 2 | 20 |
| | | 1 或 0 | 0 |
| | 检修道 | 4 或 3 | 7 |
| | | 2 | 4 |
| | | 1 或 0 | 0 |
| | 排水系统 | 4 或 3 | 6 |
| | | 2 | 3 |
| | | 1 或 0 | 0 |
| | 吊顶及各种预埋件 | 4 或 3 | 10 |
| | | 2 | 5 |
| | | 1 或 0 | 0 |
| | 内装饰 | 4 或 3 | 7 |
| | | 2 | 4 |

| | | | |
|-----------|--|-------|----|
| | | 1 或 0 | 0 |
| 标志、标线、轮廓线 | | 4 或 3 | 10 |
| | | 2 | 5 |
| | | 1 或 0 | 0 |

注：洞口、洞门、衬砌、路面、检测道、排水系统、吊顶及各种预埋件、内装饰、标志、标线、轮廓线参照《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）分别进行评定，结合不同结构技术状况值获取公路隧道土建结构风险值，并将其对应的风险分数进行累加得到隧道土建结构的风险分数。土建结构技术状况评定时，若定期检查数据满足《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）要求，则技术状况评定时可直接引用相关结果。

条文说明

公路隧道土建结构是其交通功能的基础，也是其运营安全的重要保障。一般而言，土建结构还包括隧道路面，由于此规范中将路面单独提出，故本节不评价路面结构。土建结构的风险主要体现在两个方面，即土建结构自身承载安全，如结构裂损；以及土建结构的运营安全影响，如渗漏水引起路面湿滑、掉块引起路面不平整或直接砸中运行车辆。

7.2.11 其它风险评价指标宜按表 7.2.11 的规定确定。

表 7.2.11 其它风险评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 风险分值 |
|------|---------|--------------------------------|------|
| 其他风险 | 拥堵情况 | 常态性车辆堵塞 | 30 |
| | 气象、地质条件 | 一年发生 2 次及以上，因恶劣气象或地质造成隧道运营条件恶化 | 70 |

7.3 保障因素评估

7.3.1 公路隧道保障因素的评估指标应包括照明系统、供配电系统、交通监控系统、通讯系统、逃生与救援系统、通风系统、火灾自动报警与防火灭火设施、结构健康监测系统和应急管理等内容。保障因素评分表格见附录 C.2。

条文说明

公路隧道运营安全保障因素的评估指标包括照明系统、供配电系统、交通监控系统、通讯系统、逃生与救援系统、通风系统、火灾自动报警与防火灭火设施、结构健康监测系统和应急管理等。在指标分类的基础上，应根据各指标的具体情况进行评估。

7.3.2 公路隧道保障因子计算应符合下列要求：

1 保障因子应按式（5.3.2）计算

$$BZ = \sum \lambda_j * B_j \quad (7.3.2)$$

式中： BZ ——表示公路隧道保障因子总分值；

λ_j ——表示各分项保障因素指标所占权重，%；

B_j ——表示保障因素各分项指标评分值。

2 公路隧道保障因素各分项权重宜采用表 7.3.2 的规定确定。

表 7.3.2 公路隧道保障因素评估指标及其相对权重

| j | B_j | λ_j |
|---|---------------|-------------|
| 1 | 照明系统 | 5 |
| 2 | 供配电系统 | 7 |
| 3 | 交通监控系统 | 20 |
| 4 | 通讯系统 | 5 |
| 5 | 逃生与救援系统 | 14 |
| 6 | 通风系统 | 10 |
| 7 | 火灾自动报警与防火灭火设施 | 20 |
| 8 | 结构健康监测系统 | 5 |
| 9 | 应急管理 | 14 |

3 当保障因素各分项机电设施技术状况评定为 3 类时，其指标评分值应为零分。

条文说明

隧道机电设施技术状况评定参考《公路隧道养护技术规范》（JTGH12）。

7.3.3 照明系统评价指标宜按表 7.3.3 的规定确定，评分表详见表 C.2-1。

表 7.3.3 照明系统评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 |
|------|--------------------|---|------|
| 照明系统 | 路面平均亮度 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 40 分；满足现行规范要求，得 30 分；不满足，得 0 分。 | 40 |
| | 亮度纵向均匀性 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 30 分；满足现行规范要求，得 22.5 分；不满足，得 0 分。 | 30 |
| | 隧道两侧墙壁 2 米高范围内平均亮度 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 20 分；满足现行规范要求，得 15 分；不满足，得 0 分。 | 20 |
| | 引道照明 | 有洞外引道照明且优于现行规范要求，视情况得分，最高得 10 分；满足现行规范要求，得 7.5 分；不满足或无，得 0 分。 | 10 |

注：现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》（JTGD70/2）、《公路隧道照明设计细则》（JTGT D70/2-01）。

7.3.4 供配电系统评价指标宜按表 7.3.4 的规定确定，评分表详见表 C.2-2。

表 7.3.4 供配电系统评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 |
|-------|---------------|---|------|
| 供配电系统 | 外电源 | 双重电源供电，得 30 分；两回路电源线路供电，得 22.5 分；单回路电源线路供电，得 12 分。 | 30 |
| | 双电源自动投入装置 | 有，得 10 分；无，得 0 分 | 10 |
| | 应急电源装置 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 10 分；满足现行规范要求，得 7.5 分；不满足，得 0 分。 | 10 |
| | 不间断电源装置 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 10 分；满足现行规范要求，得 7.5 分；不满足，得 0 分。 | 10 |
| | 隧道电力监控系统 | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 |
| | 电气火灾检测系统 | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 |
| | 消防水泵巡检系统 | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 |
| | 消防用电设备配电线末端切换 | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 |

注：现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》（JTGD70/2）、《建筑设计防火规范》（GB50016）、《民用建筑电气设计规范》（JGJT16）、《供配电系统设计规范》（GB50052）、《低压配电设计规范》（GB50054）、《火灾自动报警系统设计规范》（GB50116）。

7.3.5 交通监控系统评价指标应按表 7.3.5 的规定确定，评分表详见表 C.2-3。

表 7.3.5 交通监控系统评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 |
|--------|-----------------------|---|------|
| 交通监控系统 | 拥堵频率 | 低（偶尔），得 20 分；中（早晚高峰时段），得 5 分；高（常态），得 0 分。 | 20 |
| | 隧道监控中心及人员值守 | 设置监控中心且有人员值守，得 20 分；设置监控中心，得 10 分；没有设置监控中心，得 0 分。 | 20 |
| | 危险品车通行管理 | 禁止通行，得 20 分；在有引导车的情况下限制通行，得 10 分；无限制通行，得 0 分。 | 20 |
| | 摄像机间距 | 优于现行规范 ¹ 要求，视情况得分，最高得 10 分；满足现行规范要求，得 7.5 分；不满足，得 0 分。 | 10 |
| | 视频事件检测系统 | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 |
| | 洞内、洞外可变情报板 | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 |
| | 关闭隧道物理措施 ² | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 |

注：1 现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》（JTGD70/2）。

2 “关闭隧道物理措施”是指能够远程控制自动关闭隧道的措施，例如“电动栏杆”、“柔性阻挡”等。

7.3.6 通讯系统评价指标应按表 7.3.6 的规定确定，评分表详见表 C.2-4。

表 7.3.6 通讯系统评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 |
|------|---------------|---|------|
| 通讯系统 | 隧道全线及洞口覆盖有线广播 | 洞内、外均设置，得 30 分；仅洞内设置，得 20 分；无，得 0 分。 | 30 |
| | 隧道内无线调频广播 | 有，得 10，无，得 0。 | 10 |
| | 紧急电话及设置间距 | 间距 ≤ 100 米，得 30 分；间距为 200m，得 18 分； $100m < \text{间距} \leq 200m$ 时取线性插值；间距 $> 300m$ 或无，得 0 分。 | 30 |
| | 隧道内移动信号强度 | 所有运营商均覆盖，得 30 分；部分运营商覆盖，得 10 分；无移动信号覆盖，得 0 分。 | 30 |

注：其他间距取值为线性插值后四舍五入取整数。

7.3.7 隧道逃生与救援系统评价指标宜按表 7.3.7 的规定确定，评分表详见表 C.2-5。

表 7.3.7 逃生与救援系统评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 |
|---------|----------|--|------|
| 逃生与救援系统 | 紧急停车带 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 15 分；满足现行规范要求，得 11.25 分；不满足，得 0 分。 | 15 |
| | 人行横通道 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 15 分；满足现行规范要求，得 11.25 分；不满足得 0 分。 | 15 |
| | 人行横通道间距 | 间距 $\leq 250m$ ，得 20 分；间距 300m，得 12 分； $250m < \text{间距} \leq 300m$ 时取线性插值；间距 $> 300m$ 时，得 0 分。 | 20 |
| | 车行横通道 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 15 分；满足现行规范要求，得 11.25 分；不满足，得 0 分。 | 15 |
| | 车行横通道间距 | 间距 $\leq 200m$ ，得 20 分；间距 500m，得 12 分； $200m < \text{间距} \leq 500m$ 时，取线性插值；间距 $> 500m$ 时，得 0 分。 | 20 |
| | 隧道洞口联络通道 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 5 分；满足现行规范要求，得 3.75 分；不满足，得 0 分。 | 5 |
| | 疏散指示标志 | 优于现行规范要求，视情况得分，最高得 10 分；满足现行规范要求，得 7.5 分；不满足，得 0 分。 | 10 |

注：现行规范包括《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1）、《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》（JTG D70/2）。

7.3.8 通风系统评价指标宜按表 7.3.8 的规定确定，评分表详见表 C.2-6。

表 7.3.8 通风系统评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 |
|------|-------------|---|------|
| 通风系统 | 通风环境监测设施 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足得 0 分。 | 10 |
| | 通风控制设施 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足得 0 分。 | 10 |
| | 隧道纵向通风风向 | 可控制, 得 10 分, 不可控制, 得 0 分。 | 10 |
| | 通风设备的耐高温性能 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足得 0 分。 | 10 |
| | 排烟风机能否正常、可控 | 能够快速、准确地开启, 得 20 分; 能够开启, 得 10 分; 不能开启, 得 0 分。 | 20 |
| | 排烟射流风机逆向转动 | 能够逆转, 得 10 分; 不能, 得 0 分 | 10 |
| | 排烟阀是否正常、可控 | 正常、可控, 得 10 分; 正常、不可控, 得 5 分, 不能开启, 得 0 分。 | 10 |
| | 火灾排烟策略 | 制定火灾排烟策略并定期开展演练, 得 20 分; 制定火灾排烟策略未定期开展演练, 得 10 分; 无火灾排烟策略, 得 0 分。 | 20 |

注: 现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2)、《公路隧道通风设计细则》(JTG/T D70/2-02)。

7.3.9 火灾自动报警与防火灭火设施评价指标宜按表 7.3.9 的规定确定, 评分表详见表 C.2-7。

表 7.3.9 火灾自动报警与防火灭火设施评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 |
|---------------|----------|---|------|
| 火灾自动报警与防火灭火设施 | 火灾自动报警系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 25 分; 满足现行规范要求, 得 18.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 25 |
| | 火灾声光报警器 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 |
| | 手动报警按钮 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 |
| | 结构防火 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 5 分; 满足现行规范要求, 得 3.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 5 |
| | 电缆防火 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 5 分; 满足现行规范要求, 得 3.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 5 |
| | 灭火器系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 |

| | | | |
|--|---------|---|----|
| | 消火栓系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 20 分; 满足现行规范要求, 得 15 分; 不满足, 得 0 分。 | 20 |
| | 泡沫水喷淋系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 |
| | 气体灭火系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 5 分; 满足现行规范要求, 得 3.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 5 |

注: 现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2)、《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB50974)、《建筑灭火器配置设计规范》(GB50140)、《火灾自动报警系统设计规范》(GB50116)。

7.3.10 结构健康监测系统评价指标宜按表 7.3.10 的规定确定, 评分表详见表 C.2-8。

表 7.3.10 结构健康监测系统评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 |
|----------|----------|----------------------|------|
| 结构健康监测系统 | 健康监测系统 | 有, 得 25 分; 无, 得 0 分。 | 25 |
| | 监测数据自动采集 | 有, 得 25 分; 无, 得 0 分。 | 25 |
| | 监测数据分析功能 | 有, 得 25 分; 无, 得 0 分。 | 25 |
| | 监测预警功能 | 有, 得 25 分; 无, 得 0 分。 | 25 |
| | 健康监测系统 | 有, 得 25 分; 无, 得 0 分。 | 25 |

7.3.11 应急管理评价指标应按表 7.3.11 的规定确定, 评分表详见表 C.2-9。

表 7.3.11 应急管理评价指标

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 |
|------|-------------|---|------|
| 应急管理 | 隧道应急预案 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 15 分; 满足现行规范要求, 得 11.25 分; 不满足, 得 0 分。 | 15 |
| | 隧道应急管理系统 | 有, 得 8 分; 无, 得 0 分。 | 8 |
| | 自动通报事故信息 | 有, 得 8 分; 无, 得 0 分。 | 8 |
| | 自动形成救援方案 | 有, 得 5 分; 无, 得 0 分。 | 5 |
| | 应急设施联动控制 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 5 分; 满足现行规范要求, 得 3.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 5 |
| | 应急救援站 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 15 分; 满足现行规范要求, 得 11.25 分; 不满足, 得 0 分。 | 15 |
| | 定期的应急演练 | 有, 得 5 分; 无, 得 0 分。 | 5 |
| | 救援人员的定期培训 | 有, 得 4 分; 无, 得 0 分。 | 4 |
| | 应急救援队抵达火场时间 | 5min 以内得 25 分, 10min 以内得 15 分, 30min 以内得 5 分。 | 25 |
| | 专用救援车辆 | 有, 得 5 分; 无, 得 0 分。 | 5 |
| | 救援装备 | 装备齐全, 得 5 分; 部分装备, 得 3 分 | 5 |

| | | | |
|--|--|-------------|--|
| | | 分; 无, 得 0 分 | |
|--|--|-------------|--|

7.4 总体风险计算与分级

7.4.1 根据式 BZ/YH 值的大小, 应按表 7.4.1 确定公路隧道总体风险等级。

表 7.4.1 公路隧道总体风险分级标准

| 风险等级 | 分值 |
|-------|----------------------|
| I 级 | $BZ/YH \geq 90$ |
| II 级 | $80 \leq BZ/YH < 90$ |
| III 级 | $70 \leq BZ/YH < 80$ |
| IV 级 | $BZ/YH < 70$ |

8 隧道火灾专项风险评估

8.1 一般规定

8.1.1 总体风险等级达到III级及以上或发生较大及以上火灾事故的隧道，应开展火灾专项风险评估。其他风险等级隧道需进行火灾风险排查时，可开展火灾专项风险评估。

条文说明

总体风险评估是对隧道综合风险等级进行划分，对总体风险等级达到III级及以上的隧道应纳入专项评估范围。评估小组应根据总体风险评估情况，对于火灾风险较高的隧道应开展火灾专项评估，进一步排查火灾风险源。发生较大及以上火灾事故后，应开展火灾专项风险评估，有助于查明火灾事件原因。

8.1.2 隧道火灾专项风险评估应根据火灾风险事件发生的可能性和后果等级，采用风险矩阵法确定隧道火灾专项风险等级。火灾风险事件发生的可能性和后果等级宜采用定量方法进行评价。

条文说明

火灾专项风险评估时，采用定量方法计算火灾风险事件发生的可能性和后果具体数值，有助于进一步量化分析火灾风险源或火灾事故原因，比选应对措施效果。当条件不充分或基础数据不足时，可采用专家调查法等定性方法评价火灾风险事件发生的可能性和后果等级。

8.1.3 隧道火灾专项风险评估工作流程可按图 8.1.3 实施。

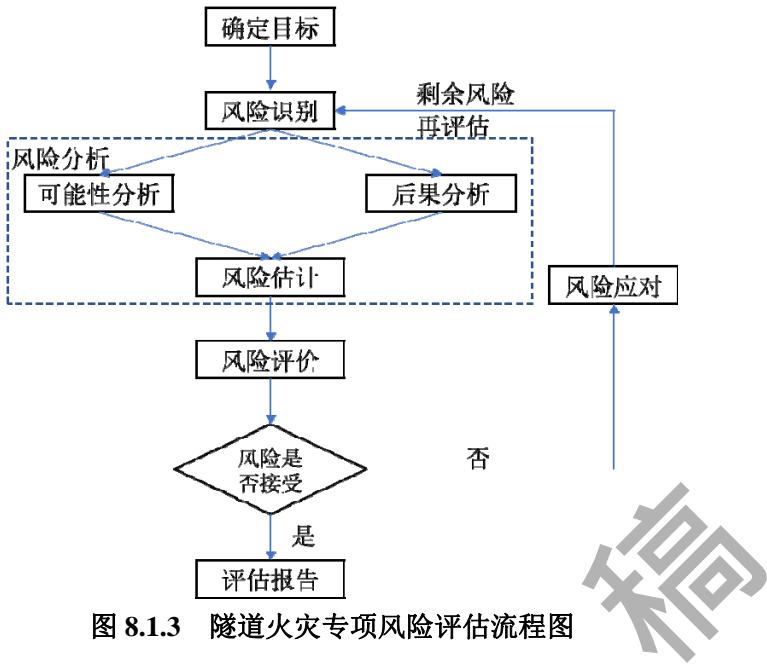


图 8.1.3 隧道火灾专项风险评估流程图

8.2 风险识别

8.2.1 火灾风险识别宜包括对火灾风险源、风险事件及其原因、影响因素、潜在后果的识别。

条文说明

火灾风险识别是风险分析、风险评价的基础，对隧道火灾风险源、风险事件及其原因、影响因素、潜在后果的识别，有助于确定典型火灾场景或场景组合，为后续风险分析及评价作准备。

8.2.2 火灾风险识别应依次开展资料收集整理、火灾位置及类型分类、风险事件各过程影响因素识别、确定火灾风险事件场景等工作。

条文说明

火灾风险识别通过系统分析工程资料，依据火灾发生位置、火灾类型对火灾风险事件进行分类，按照事件发生发展全过程进行分解，并对各过程影响因素及可能后果进行识别，明确可能发生的火灾风险事件场景或场景组合。

8.2.3 火灾风险识别收集隧道相关资料时，除应符合本规范第 6.0.3 条和 6.0.4 条规定外，还应收集评估对象历史火灾事故资料、邻近隧道或类似隧道工程及火灾事故资料。

条文说明

评估对象历史火灾事故资料、邻近隧道或类似隧道工程及火灾事故资料有利于统计火灾事故发生频率，分析火灾事故发展过程，推断火灾事故原因及影响因素，确定火灾场景或场景组合。

8.2.4 火灾风险识别时，应在总结历史隧道火灾资料基础上，按照火灾典型发生位置和类型，对可能发生的火灾风险事件进行分类。

条文说明

火灾事故发生位置和类型是火灾事故场景的基础，但可能发生的火灾场景数值众多，不可能逐一分析。因此，应在历史隧道火灾案例总结的基础上，对典型发生位置和类型进行识别，确定火灾风险事件分类。

8.2.5 火灾风险识别宜按照火灾随时间发展过程，对火灾风险事件影响因素进行识别。

条文说明

火灾风险事件的影响因素较多，风险识别时宜按照火灾随时间发展过程进行梳理，通常包括火灾发生、增长、完全发展和衰减等不同阶段。火灾风险事件影响因素除考虑火灾发生位置和类型外，还宜考虑火灾自动报警系统有效性、司乘人员自救是否成功、报警和通信系统是否正常、疏散系统是否正常、排烟系统是否正常、应急人员控火灭火是否成功等。

8.2.6 火灾风险识别宜采用事件树方法确定可能发生的火灾风险事件场景。火灾场景应包括隧道环境、火灾位置及类型、影响火灾发展过程的相关因素。

条文说明

火灾风险事件场景（或组合）是开展火灾风险分析的基础。每个火灾场景应包括火灾随时间发展的过程、隧道环境和其他影响火灾发展的因素，确定造成该火灾与其他火灾不同的关键事件。采用事件树法，创建能代表与火灾场景相关的从火灾引燃到火灾熄灭全过程中可供选择的事件序列。每一个事件树分支代表一个可能发生的火灾场景。

8.3 风险分析

8.3.1 火灾风险分析可分为 4 个步骤，包括：选择典型火灾场景、火灾场景可能性

估算、火灾场景后果估算、确定风险等级。

8.3.2 火灾风险分析时，应逐一分析典型火灾场景的可能性和后果，并确定其风险等级。

8.3.3 火灾风险事件发生可能性应结合工程资料收集情况、可获得的数据、风险事件特点等因素确定，且应符合下列规定：

1 当无准确火灾事故统计数据时，可采用专家调查法定性分析评估对象发生火灾事故的可能性等级；

2 当有详细历史火灾事故发生频率数据时，宜使用统计数据直接估算评估对象发生火灾事故的可能性；

3 当仅有总体火灾事故统计数据，无各典型火灾场景数据时，宜采用事件树对各场景条件概率进行分析，并由初始事件概率或频率×各场景条件概率获得各场景概率。

条文说明

可能性分析方法可选用专家调查法、统计数据估计法、事件树法，这些方法可单独或组合使用。事件树中各分支条件概率可统计数据直接估计，也可采用专家调查法综合确定。

8.3.4 火灾风险事件后果分析应工程资料收集情况、可获得的数据、火灾场景类型等因素确定，且应符合下列规定：

1 当有详细历史火灾事故损失统计数据时，宜使用统计数据直接估算评估对象发生火灾事故的后果，后果可采用人员伤亡数量或财产损失数量表示；

2 当无准确火灾事故损失统计数据，且火灾场景较简单时，可采用专家调查法定性分析评估对象发生火灾事故的后果等级；

3 当无准确火灾事故损失统计数据，且火灾场景较复杂时，宜采用数值模拟法定量分析评估对象发生火灾事故的后果，后果可采用人员伤亡数量表示。

条文说明

后果分析方法可选用专家调查法、数值模拟法，这些方法可单独或组合使用。采用数值模拟法定量分析评估对象火灾事故的后果时，应综合考虑火灾规模、人员荷载、火灾自动报警系统有效性、控烟排烟效果、疏散出口间距及宽度等情况，通过 CFD 模拟软件和人员疏散模拟软件建立数值计算模型，对火灾烟气扩散过程和疏散过程进

行模拟分析，计算可用疏散时间（ASET）和必需疏散时间（RSET），通过比较 ASET 和 RSET 对疏散的安全性进行评估，获得可能人员伤亡数量。

8.3.5 火灾场景风险分析时，应根据发生可能性和后果等级，按照风险矩阵法确定火灾场景风险等级。

8.3.6 隧道火灾专项风险等级应取所选典型火灾场景中风险等级的最大值。

8.4 风险评价

8.4.1 火灾专项风险评价应按照相应风险接收准则，对评估对象风险进行评价。

9 隧道结构灾害专项风险评估

9.1 一般规定

9.1.1 总体风险等级达到III级及以上或发生较大及以上结构灾害事故的隧道，应开展结构灾害专项风险评估。其他风险等级隧道需进行结构灾害风险排查时，可开展结构灾害专项风险评估。

条文说明

总体风险评估是对隧道综合风险等级进行划分，总体风险等级达到III级及以上的隧道应纳入专项评估范围，以获取灾害风险主要矛盾，明确防治对象与重点。发生较大及以上结构灾害事故后，应开展结构灾害专项风险评估，有助于查明结构灾害原因，指导灾害预防与处治。

9.1.2 隧道结构灾害专项风险评估应根据风险事件发生的可能性和后果等级，采用风险矩阵法确定隧道结构灾害专项风险等级。结构灾害风险事件发生的可能性和后果等级宜采用定量为主、定性结合的方法进行评价。

条文说明

结构灾害专项风险评估时，采用定量方法计算结构灾害风险事件发生的可能性和后果具体数值，有助于进一步量化分析结构灾害风险源或事故原因，比选应对措施效果。当条件不充分或基础数据不足时，可采用专家调查法等定性方法评价结构灾害风险事件发生的可能性和后果等级。

9.1.3 隧道结构灾害专项风险评估应针对剥落掉块、变形失稳、突泥涌水、路面结构、装饰标线等单一灾害风险，以及多种灾害耦合作用风险。

条文说明

剥落掉块泛指起层剥落、剥离掉块、结构欠厚、结构空洞、材料劣化、衬砌裂损等影响结构断面承载能力的相关灾害风险源；变形失稳泛指松动坍塌、偏压荷载、冻胀挤压、不均匀沉降与围岩空洞等影响结构荷载条件或引起结构大变形的相关灾害风险源。；突泥涌水泛指岩溶高水压、断面突涌水、暴雨地下水位陡增等水压作用相关的灾害风险源。路面结构损坏泛指路面破损、路面错台、仰拱空洞、仰拱欠厚、钢筋缺失等影响车辆行驶与结构承载安全的相关灾害风险源；装饰标线风险泛指装饰板或

瓷砖变形、破损、脱落，交通标志标线脏污、脱落、缺失等相关灾害风险源。

9.1.4 隧道结构灾害专项风险评估工作流程可按图 9.1.4 实施。

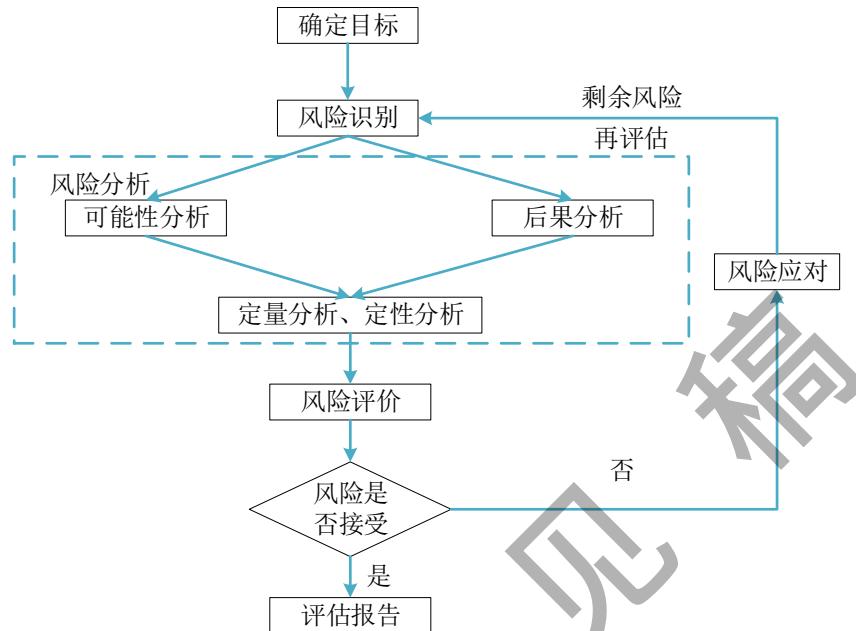


图 9.1.4 隧道结构灾害专项风险评估流程图

9.2 风险识别

9.2.1 结构灾害风险识别宜包括结构灾害风险类型、风险源和不利后果的识别。

条文说明

结构灾害风险识别是风险分析、风险评价的基础，结构灾害风险类型识别包括风险型式、部位、状态等发生与发展过程和现象的识别；风险源识别是在风险事件识别基础上，结合检测、监测资料，推断引起风险事件的具体原因，如荷载变化、结构劣化、边界弱化等；不利后果包括安全后果与运营后果。

9.2.3 结构灾害风险识别收集隧道相关资料时，除应符合本规范第 6.0.3 条和 6.0.4 条规定外，还宜收集邻近隧道灾害资料、历史气象信息、灾害事故与处治资料及交通运营资料等。

条文说明

获取评估对象邻近隧道灾害资料、历史气象信息、灾害事故与处治资料的有利于分析结构灾害事故发展过程，推断结构灾害事故原因及影响因素，确定结构灾害场景或场景组合。交通运营资料的获取有利于分析灾害后果与不利影响。

9.3.4 结构灾害风险识别方法可选用检查表法、专家经验法、数值模拟法等方法，对发展中的结构灾害，宜采用自动监检测装备进行动态风险识别。

条文说明

结构灾害风险识别除可采用常规的检查表等人工识别方法外，对于动态发展的结构灾害，人工识别难以实时掌握风险变化，可采用自动监测装备、巡检机器人等新型技术与装备，进行动态风险识别，及时监测结构灾害风险。

9.3 风险分析

9.3.1 风险评估应采用定性或定量的方法对风险发生的可能性、后果及风险大小进行估算。

9.3.2 结构灾害风险分析应包括承载结构的风险分析与交通结构的风险分析。

9.3.3 隧道承载结构的定量风险分析，宜采用数值计算进行分析，对风险源荷载与结构劣化可采用等效计算模拟，有条件时可采用实验分析。

条文说明

隧道承载结构风险，如剥落掉块、变形失稳、突泥涌水等，均可通过将风险源作用等效为外荷载、结构自身劣损等效为模型损伤等方式，进行数值模拟计算分析。根据招商局重庆交通科研设计院有限公司的研究，相关等效计算模型与方法，可作为数值计算分析的参考。在情况较复杂时，可采用模型实验进行分析。

9.3.4 隧道交通结构的定量风险分析，可采用数值模拟进行分析，有条件时可采用实验分析。

条文说明

隧道路面结构风险，可采用驾驶模拟的数值方法进行风险分析，对路面风险对驾驶的影响进行分析；隧道装饰标线风险，可采用 VR 实验，或实体实验等方式，分析对驾驶人员的影响。

9.3.5 在定量风险分析难以开展时，可根据风险可能性等级表 9.3.5-1~表 9.3.5-5 进行隧道结构专项风险定性分析，结构灾害风险发生的可能性取各表中不利值，资料不充分或评估困难时，可采用专家调查法确定。

表 9.3.5-1 剥落掉块、变形失稳与风险评可能性等级

| 风险描述 | | 风险值 |
|--|---|-----|
| 外荷载作用所致 | 材料劣化所致 | |
| 结构无裂损、变形和背后空洞或出现变形、位移、沉降和裂缝，但无发展或已停止发展 | 材料无劣化或存在材料劣化，钢筋表面局部腐蚀，衬砌无起层、剥落，对断面强度几乎无影响 | 1 |
| 出现变形、位移、沉降和裂缝，发展缓慢，边墙衬砌背后存在空隙，有扩大的可能 | 材料劣化明显，钢筋表面全部生锈、腐蚀，断面强度有所下降，结构物功能可能受到损害 | 2 |
| 出现变形、位移、沉降，裂缝密集，出现剪切性裂缝，发展速度较快；边墙处衬砌扭裂，导致起层、剥落，边墙混凝土有可能掉下；拱部背面存在大的空洞，上部落石可能掉落至拱背；衬砌结构侵入内轮廓界限 | 材料劣化严重，钢筋断而因腐蚀而明M减小，断面强度有相当程度的下降，结构物功能受到损害；边墙混凝土起层、剥落，混凝土块可能掉落或已有掉落 | 3 |
| 衬砌结构发生明显的永久变形，裂缝密集，出现剪切性裂缝，裂缝深度贯穿衬砌混凝土，并且发展快速；由于拱顶裂缝密集，衬砌开裂，导致起层、剥落，混凝土块可能掉下；衬砌拱部背面存在大的空洞，且衬砌有效厚度很薄，空腔上部可能掉落至拱背；衬砌结构侵入建筑限界 | 材料劣化非常严重，断面强度明显下降，结构物功能损害明显；由于拱部材料劣化，导致混凝土起层、剥落，混凝土块可能掉落或已有掉落 | 4 |

表 9.3.5-2 突泥涌水风险可能性等级

| 风险描述 | 风险值 |
|---|-----|
| 无渗漏水或衬砌表面存在浸透 | 1 |
| 衬砌拱部有滴漏，侧墙有小股涌流，路面有侵渗但无积水，拱部、边墙因渗水少量挂冰，边墙脚积冰 | 2 |
| 拱部有涌流、侧墙有喷射水流，路面积水，沙土流出、拱部衬砌因渗水形成较大挂冰、胀裂，或涌水积冰至路面边缘 | 3 |
| 拱部有喷射水流，侧墙存在严重影响行车安全的涌水，地下水从检查井涌出，路面积水严重，伴有严重的沙土流出和衬砌挂冰 | 4 |

表 9.3.5-3 路面结构风险可能性等级

| 风险描述 | 风险值 |
|--|-----|
| 路面完好或路面上有侵湿、轻微裂缝、落物等，引起使用者轻微不舒适感 | 1 |
| 路面有局部的沉陷、隆起、坑洞、表面剥落、露骨、破损、裂缝，轻微积水，引起使用者明显的不舒适感，可能会影响行车安全 | 2 |
| 路面出现较大面积的沉陷、隆起、坑洞、表面剥落、露骨、破损、裂缝、积水严重等，影响行车安全；抗滑系数过低引起车辆打滑 | 3 |
| 路面出现大面积的明显沉陷、隆起、坑洞，路面板严重错台、断裂、表面剥落、露骨、破损、裂缝，出现漫水、结冰或堆冰，严重影响交通安全，可能导致交通意外事故 | 4 |

表 9.3.5-4 装饰标线风险可能性等级

| 风险描述 | | 风险值 |
|----------------------------|---------|-----|
| 定性描述 | 定量描述 | |
| 内装饰完好；标志标线完好 | \ | 1 |
| 个别内装饰板或瓷砖变形、破损；标志标线损坏率≤10% | 损坏率≤10% | 2 |

| | | |
|--------------------------------------|---------------|---|
| 线存在脏污、不完整 | | |
| 部分内装饰板或瓷砖变形、破损、脱落；标志标线存在脏污、部分脱落、缺失 | 损坏率>10%,且≤20% | 3 |
| 大面积内装饰板或瓷砖变形、破损、脱落；标志标线大部分存在脏污、脱落、缺失 | 损坏率>20% | 4 |

表 9.3.5-5 隧道路面结构风险可能性等级

| 风险发生可能性等级 | 定量描述(MQI) |
|-----------|-----------|
| 1 | ≥90 |
| 2 | ≥80, <90 |
| 3 | ≥70, <80 |
| 4 | <70 |

条文说明

此条主要参照《公路隧道养护技术规范》(JTG H12)确定，在其基础上，结合本规范的目的与内容，将结构安全状况评定与运营影响评定分离，对衬砌破损、衬砌渗漏水等以结构安全为主要对象的灾害风险类型，其状况值为0、1时评定为低风险；状况值为2时评定为中风险；状况值为3时评定为较高风险；状况值为4时评定为高风险。对隧道路面、内装饰、交通标志标线等以运营安全为主要对象的灾害风险类型，其状况值为0时评定为低风险；状况值为1时评定为中风险；状况值为2时评定为较高风险；状况值为3、4时评定为高风险。多灾害耦合作用情况下，可选用数值模拟方法计算得出结构受力与变形情况，再结合专家经验确定风险等级。

隧道路面结构风险等级参照《公路技术状况评定标准》(JTG H20)确定。

9.3.6 结构灾害风险后果应包括交通影响、人员伤亡、财产损伤失等，后果等级取三者中的最不利值，资料不充分或评估困难时，可采用专家调查法确定。

表 9.3.6 结构灾害风险后果等级划分方法

| 风险后果等级 | 定性描述 |
|--------|-----------|
| 1 | 不影响行车安全 |
| 2 | 可能会影响行车安全 |
| 3 | 影响行车安全 |
| 4 | 严重影响行车安全 |

条文说明：

结构灾害风险后果中人员伤亡、财产损失风险等级按5.2节确定，交通影响风险后果等级可按表确定。

9.4 风险评价

9.4.1 隧道结构灾害风险评价方法可选用风险矩阵法、数值模拟法、专家调查法。

条文说明:

当隧道结构灾害风险发生可能性等级与风险后果等级均能获取时，可采用风险矩阵法确定风险等级。当资料不全引起风险发生可能性等级和风险后果等级不能获取，或风险极为复杂，存在多风险耦合作用时，可采用数值模拟计算+专家判定的方法确定运营安全风险等级。

9.4.2 隧道结构灾害风险等级宜按表 9.4.2 的规定确定。

表 9.4.2 隧道结构灾害风险等级

| 可能性等级 \ 后果等级 | I | II | III | IV |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| I | I | II | II | III |
| II | II | II | III | III |
| III | II | III | III | IV |
| IV | III | III | IV | IV |

条文说明

隧道结构灾害风险等级标准参考《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》制定。

10 隧道其他专项风险评估

10.1 一般规定

10.1.1 根据隧道实际运营状况, 对需要查其他重大灾害原因或排查其他重大灾害风险源的隧道, 应开展隧道其他专项风险评估。

10.1.2 隧址区域内发生气象灾害或地质灾害、设备出现故障后, 应开展隧道其他专项风险评估。

10.1.4 为预防或防止其他灾害风险的发生, 需对其他灾害风险进行排查以及重大其他事故开展普查。

10.1.6 隧道其他重大专项风险评估可按照总体风险评估流程开展, 有条件时可开展计算、实验研究等进行风险评估。

10.2 设备失效专项风险评估

10.2.1 当公路隧道运营过程中机电设施的设备失效时应开展设备失效专项风险评估。

条文说明

设备失效是指隧道机电设施设备失去或降低其规定功能的现象, 表现为设备不能正常运行、技术性能降低, 致使效率降低而影响隧道正常运营或行车安全。机电设施设备失效专项风险评估用于评价设备失效后对隧道正常运营或行车安全的风险, 为针对性的维养提供对策和依据。

10.2.2 机电设施设备失效专项风险评估宜采用考虑机电设施各项目权重的评估方法。

条文说明

由于公路隧道机电设施种类和项目较多, 各项目较为独立且相互关联性较低, 所以有必要根据机电设施各项目的权重, 对机电设施设备失效专项风险评估进行评定。机电设施各分项权重可参考《公路隧道养护技术规范》(JTG H12) 的相关规定取值。

10.2.3 机电设施各设备按照重要程度由高到低, 分为 I 、 II 、 III三类。机电设施各设备分类宜按表 10.2.3 的规定确定。

表 10.2.3 机电设施各设备分类表

| 分项 | I类 | II类 | III类 |
|---------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 供配电系统 | 直流电源、EPS 电源、UPS 电源、自备发电设备 | 电力线缆、电力变压器、高压配电设备、低压配电设备、控制箱 | 配电箱、插座箱、电力监控系统 |
| 照明系统 | 隧道灯具(应急) | 隧道灯具(常规)、洞外路灯、 | 亮度检测器 |
| 通风系统 | 射流风机、轴流风机、排烟阀 | 风速风向检测器 | CO/VI 检测器、能见度检测器 |
| 消防设施 | 火灾自动报警设施、手动火灾报警设施、消火栓及灭火器、水泵、水喷雾灭火设施 | 水泵接合器、消防水池、电光标志 | 气体灭火设施、给水管、液位检测器、阀门 |
| 监控与通讯设施 | 视屏监控系统、事件监测系统、紧急电话及广播、横通道门、本地控制器 | 交通控制和诱导设施、通讯设施 | 监控室设备及系统、 |

10.2.4 机电设施设备失效专项风险评估应采用设备完好率进行评价，其计算方法应符合下列规定：

1 机电设施各设备完好率应按式(10.2.4-1)计算。

$$\text{设备完好率} = \left(1 - \frac{\text{设备故障台数} \times \text{故障天数}}{\text{设备总台数} \times \text{日历天数}} \right) \times 100\% \quad (10.2.4-1)$$

2 机电设施各设备分类的设备完好率应按式(10.2.4-2)计算。

$$\text{分部工程设备完好率} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (10.2.4-2)$$

式中： E_i —各设备对应的设备完好率，0~100%；

w_i —各分项权重。

3 机电设施各分项设备权重宜按表格 10.2.4 的规定确定。

表 10.2.4 机电设施各分项权重表

| 分项 | 分项权重 (w_i) | 分项 | 分项权重 (w_i) |
|-------|----------------|---------|----------------|
| 供配电系统 | 23 | 消防设施 | 21 |
| 照明系统 | 28 | 监控与通讯设施 | 19 |
| 通风系统 | 19 | - | - |

10.2.5 机电设施 I 类设备失效风险评价等级应按表格 10.2.5 的规定确定， II 类和

III类可参照执行。

表 10.2.5 机电设施设备失效风险评价等级表

| 风险等级 | I 类 | II 类 | III类 |
|------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| I | 设备完好率 $\geq 100\%$ | 设备完好率 $\geq 98\%$ | 设备完好率 $\geq 95\%$ |
| II | $95\% \leq$ 设备完好率 $< 100\%$ | $92\% \leq$ 设备完好率 $< 98\%$ | $85\% \leq$ 设备完好率 $< 95\%$ |
| III | $90\% \leq$ 设备完好率 $< 95\%$ | $85\% \leq$ 设备完好率 $< 92\%$ | $80\% \leq$ 设备完好率 $< 85\%$ |
| IV | 设备完好率 $< 90\%$ | 设备完好率 $< 85\%$ | 设备完好率 $< 80\%$ |

10.3 地质气象灾害专项风险评估

10.3.1 公路隧道运营过程中发生地质气象灾害时，应开展地质气象灾害专项风险评估。

条文说明

地质气象灾害具体指洞口岩石崩塌、山体滑坡、活动断裂与地震等地质灾害以及暴雨、冰雹、暴雪等气象灾害。地质气象灾害专项风险评估用于评价灾后隧道正常运营或行车安全的风险，为针对性的处治提供对策与依据。

10.3.2 地质气象灾害识别应包括灾害发生的现状、趋势、程度等。

条文说明

地质灾害识别主要指岩石崩塌、山体滑坡风险的变形情况、发展趋势、稳定状态；活动断层的产状、性质、富水条件、破碎程度、稳定状态等；地震的持续时间、震中位置、地震震级、震源深度等；气象灾害识别主要指暴雨的降雨强度、降雨面积、暴雨中心；冰雹的颗粒大小、时间分布与空间分布；暴雪的积雪深度、时间分布与空间分布。

10.3.3 地质气象灾害风险识别除应识别直接灾害风险外，还应识别剥落掉块、变形失稳等次生结构灾害。

条文说明

地质气象灾害发生后，受外部作用，隧道结构亦会发生剥落掉块、变形失稳等损坏，影响公路隧道运营安全，如地震、活动断裂、暴雨等地质气象灾害，其风险后果主要通过结构损坏作用。

10.3.4 地质气象灾害风险评估中，直接风险可采用定性评估，间接风险宜按 9.3

节进行评估，灾害风险等级取直接风险与间接风险中不利值。资料不全或灾害作用复杂时，可采用专家调查法评估。

1 洞口岩石崩塌、滑坡地质灾害可按表 10.3.4-1 进行定性评估。

表 10.3.4-1 洞口岩石崩塌、浅层滑坡风险等级表

| 评价指标 | 定性描述 | 风险等级 |
|-------------|--|------|
| 洞口岩石崩塌、山体滑坡 | 完好，无破坏现象或山体及岩体、挡土墙、护坡等有轻微裂缝产生，排水设施存在轻微破坏 | 1 |
| | 山体及岩体裂缝发痒，存在滑坡、崩塌的初步迹象，坡面树木或电线杆轻微倾斜，挡土墙、护坡等产生开裂、变形，土石零星掉落，排水设施存在一定裂损、阻塞 | 2 |
| | 山体及岩体严重开裂，坡面树木或电线杆明显倾斜，挡土墙、护坡等产生严重开裂、明显的永久变形，墙角或坡面有土石堆积，排水设施完全堵塞、破坏，排水功能失效 | 3 |
| | 山体及岩体有明显而严重的滑动、崩塌现象，挡土墙、护坡断裂、外倾失稳、部分倒塌，坡面树木或电线杆倾倒等 | 4 |

2 地震灾害可按表 10.3.4-2 进行定性评估，也可采用数值模拟法或专家调查法进行评估。

表 10.3.4-2 活动断裂与地震风险等级表

| 评价指标 | 风险描述 | 风险等级 |
|---------|---|------|
| 活动断裂与地震 | 无地面沉降，隧道衬砌轻微错台，存在少量裂缝，拱顶无掉块，对隧道结构和交通运行无影响。 | 1 |
| | 地面出现轻微沉降，隧道衬砌明显错台，存在较多微裂缝，拱顶轻微掉块，会影响隧道结构稳定和交通运行安全。 | 2 |
| | 地面出现较严重沉降，隧道衬砌较严重错台，存在较多裂缝，拱顶较严重掉块，严重影响隧道结构稳定和交通运行安全。 | 3 |
| | 地面出现严重沉降，隧道衬砌严重错台，存在大量裂缝，拱顶严重掉块，危及隧道结构稳定和交通运行安全。 | 4 |

3 气象灾害风险可按表 10.3.4-3 进行定性评估。

表 10.3.4-3 气象灾害风险等级表

| 评价指标 | 风险描述 | 风险等级 |
|-----------|-----------------------------------|------|
| 暴雨水淹、洞口结冰 | 路面完好干燥；洞口路面不打滑，对行车安全影响小。 | 1 |
| | 路面湿润或轻微积水，引起使用者明显的不舒适感，可能会影响行车安全。 | 2 |
| | 路面积水严重，抗滑系数过低引起车辆打滑，影响行车安全。 | 3 |
| | 路面出现浸水、结冰或冰锥；洞口出现结冰、挂冰或 | 4 |

| | | |
|--|-------------------------|--|
| | 冰柱，严重影响行车安全，可能导致交通意外事故。 | |
|--|-------------------------|--|

条文说明

此条主要参照《公路隧道养护技术规范》（JTG H12）确定，在其基础上，结合本规范的目的与内容，技术状况值为0、1时评定为低风险；技术状况值为2时评定为中风险；技术状况值为3时评定为较高风险；技术状况值为4时评定为高风险。

征求意见稿

11 风险应对措施建议

11.1 一般规定

11.1.1 根据风险等级，按照风险接受准则，应提出针对性的风险应对措施建议。

11.1.2 风险应对措施建议应根据隧道运营环境、风险评估结果、技术经济性等因素综合确定。

11.2 应对措施

11.2.1 公路隧道应根据风险等级按表 11.2.1 采取分级策略。

表 11.2.1 分级应对策略与措施建议

| 风险等级 | 分级应对策略 | 分级应对措施 |
|-------|----------|-----------------|
| I 级 | 不需采取任何措施 | 正常养护运营 |
| II 级 | 可采取预防措施 | 重点巡查、监测预警等 |
| III 级 | 应采取措施 | 监测预警、升级改造、专项治理等 |
| IV 级 | 必须及时采取措施 | 监测预警、升级改造、专项治理等 |

11.2.2 运营安全风险等级为Ⅳ级的高风险隧道，必须及时采取综合措施进行处置，将其风险降低至Ⅲ级或以下。

条文说明

隧道运营安全风险为Ⅳ级时，归为高风险隧道类。该类隧道通常为已经呈现事故聚焦特征或存在运行环境复杂、路线设计指标欠佳、路面抗滑性能衰减、设备使用性能欠佳等潜在事故风险。风险事件发生概率高、后果严重，必须采取综合处治措施将风险降低到Ⅲ级或以下。

11.2.3 运营安全风险等级为Ⅲ级的较高风险隧道，应采取措施合理控制或降低安全风险。

条文说明

隧道运营安全风险为Ⅲ级时，归为较高风险隧道类，应基于风险接受准则，按照 ALARP 原则采取有效措施，合理管控风险或降低风险等级。

11.2.4 运营安全风险等级为Ⅱ级的中风险隧道，可采取预防措施。

条文说明

隧道运营安全风险为Ⅱ级时，归为中风险隧道类。对于接近Ⅲ级阈值的风险可以直接进行风险控制措施的成本效益分析，如果增加安全的投入对安全效益贡献不大，则可认为风险是可容许的。对于接近Ⅰ级阈值的风险，则需进一步采取风险控制措施降低风险，以使风险尽可能向Ⅰ级风险靠近，直至风险降低的成本与产生的安全收益完全不成比例。

11.2.5 运营安全风险等级为Ⅰ级的低风险隧道，除正常养护运营工作外可不采取其他风险控制措施。

11.2.6 运营安全风险的应对措施可包括重点巡查、监测预警、升级改造和专项治理等。

11.2.7 重点巡查应针对风险评估中发现的重要风险源开展针对性的巡查工作。

条文说明

对于重要风险源，可采用档案电子化、信息数字化和靶向监测等技术手段，提高巡查效率和水平，利于跟踪比对与及时识别风险。

11.2.8 监测预警应针对运营安全风险较大的隧道开展针对性的监测和预警工作。

条文说明

除常规的监测手段外，鼓励采用远程化、自动化、实时化等智能监测与预警技术手段，提高风险监测水平。

11.2.9 升级改造应针对运营安全风险较大的隧道土建结构与交通工程及附属设施开展针对性的升级改造工作。

11.2.10 专项治理应针对重大风险源从降低风险、提高保障等方面开展针对性的专项治理工作。

11.2.11 实施风险应对措施后，应根据风险准则开展再评估工作。

附录 A 隧道运营安全风险评估方法适用性

A.0.1 隧道运营风险评估常用的技术方法如表 A.0.1 所示。

表 A.0.1 隧道运营风险评估方法

| 分类 | 名称 | 适用范围 |
|--------|-----------------------|--|
| 定性分析方法 | 专家调查法 (包括智暴法、德尔菲法) | 专家调查法适用于难以借助精确的分析技术而可依靠集体的直观判断进行预测的风险分析问题。问题复杂、专家代表不同的专业且没有交流的历史。受时间、经费限制,或因专家之间存有分歧、隔阂不宜当面交换意见。 |
| | 检查表法 | 检查表是在大量实践经验基础上编制的识别危害因素的检查表。检查表的适用范围广泛,在有事先编制的、适用的安全检查表或者事故隐患检查表的情况下都是适用的。 |
| | 专家经验法 | 专家经验法适用范围广泛,对一些难以精确分析的风险问题均可适用专家经验法。 |
| | 专家信心指数法 | 专家信心指数法是一种改进的专家调查法。所谓信心指数就是专家在做出相应判断时的信心程度,也可以理解为该数据的客观可靠程度。这就会大大提高数据的可用性,也可以扩大数据采集对象的范围。适用范围同专家调查法。 |
| 定量分析方法 | 指标体系法 | 指标体系法适用于对影响风险事件的主要因素和评价指标明确的情况。通过确定评价指标以及指标分值和权重,从而建立指标体系表进行风险的分级。 |
| | 层次分析法 | 层次分析法适用于任何领域的任何环节,但不适用于层次复杂的系统。 |
| | 场景分析法 | 情景分析法适用于对影响风险事件的基本流和备选流明确的情况。要对风险事件的多种不同发展方向了解的情况下确定不同的场景,对每种场景的后果进行分析。 |
| | 统计数据估计法 | 统计数据估计法适用于有详细历史事故统计时,可使用统计数据直接估算评估对象发生事故的可能性。 |
| | 蒙特卡洛模拟法 | 优点是可以解决许多复杂的概率运算问题以及适合于不允许进行真实试验的场合。一般只在进行较精细的系统分析时才使用,适用于问题比较复杂,要求精度较高的场合,特别是对少数可行方案实行精选比较时十分必要。 |
| | 主成分分析法 | 主成分分析法可适用于各个领域,但其结果只在比较相对大小时才有意义。 |
| | 数值模拟法 | 采用数值计算软件对模拟问题进行建模分析,分析结构受力于变形,或者进行仿真模拟,并进行风险评估。该方法适用于复杂问题模拟计算,判断结构设计与施工风险信息。 |
| | 试验模拟法 | 试验模拟法适用于问题比较复杂,适用于大型项目。通过试验的模拟来实现对风险事件的重现,从而对风险事件进行全面的分析。 |
| | 神经网络方法 | 神经网络方法适用范围广泛,主要有以下方面:预测问题,原因和结果的关系模糊的场合;模式辨识,涉及模糊信息的场合;不一定非要得到最优解,主要是快速求得与之相近的次优解的场合;组合数量非常多,实际求 |

| 分类 | 名称 | 适用范围 |
|----|-----------|---|
| | | 解集合不可能的场合；对非线性很高的系统进行控制的场合。 |
| | 模糊数学综合评判法 | 模糊数学综合评判方法适用于任何系统的任何环节，其适用性比较广。 |
| | 事故树法 | 事故树法应用比较广，非常适合于复杂性较大的系统。事故树法经常用于直接经验较少的风险源辨识。 |
| | 事件树法 | 事件树可以用来分析系统故障、设备失效、工艺异常、人的失误等，应用比较广泛。事件树法不能分析平行产生的后果，不适用于详细分析。 |
| | 风险评价矩阵法 | 该方法可根据使用的需求对风险等级划分进行修改，使其适用不同的分析系统，但要有一定的经验和数据资料做依据。其即可适用于整个系统，又可以适用于系统中某一环节。 |

A.0.2 隧道运营风险评估方法的选择应根据评估目的、评估对象特点，考虑特定情况下各自的优缺点来完成。评估所选择的方法必须与具体问题所需的评估深度和可用资源或数据相匹配。

附录 B 隧道运营安全风险辨识清单

B.0.1 隧道运营风险辨识清单如表 B.0.1 所示。

表 B.0.1 隧道运营风险辨识清单

| 风险事件 | | 交通事故 | 火灾 | 结构灾害 | 其他风险 |
|------|---------|------|----|------|------|
| 风险源 | | | | | |
| 环境条件 | 建设环境 | | | ★ | ★ |
| | 地质条件 | | | ★ | ★ |
| | 周边环境 | | | | ★ |
| 交通条件 | 交通量 | ★ | ★ | | |
| | 交通形式 | ★ | | | |
| | 重车比例 | ★ | ★ | | |
| | 危化品通行 | | ★ | | |
| | 车道数 | ★ | | | |
| | 设计速度 | ★ | | | |
| | 拥堵频率 | ★ | | | |
| 隧道条件 | 隧道长度 | ★ | ★ | | |
| | 隧道线形 | ★ | | | |
| | 冲突点 | ★ | | | |
| | 路面条件 | ★ | | ★ | |
| | 标志标线 | ★ | | | |
| | 洞口洞门 | ★ | | ★ | |
| | 衬砌 | | | ★ | |
| | 检修道 | | | ★ | |
| | 吊顶及预埋件 | | | ★ | |
| | 隧道内装饰 | | | ★ | |
| 机电系统 | 排水系统 | ★ | | | ★ |
| | 照明系统 | ★ | | | |
| | 供配电系统 | ★ | ★ | | |
| | 交通监控系统 | ★ | ★ | | |
| | 通讯系统 | ★ | ★ | | |
| | 逃生与救援通道 | | ★ | | |
| | 通风系统 | | ★ | | |
| | 火灾消防系统 | | ★ | | |
| | 健康监测系统 | | | ★ | |
| 运营管理 | 日常管理 | ★ | | | |
| | 应急管理 | ★ | ★ | | ★ |

附录 C 隧道运营安全总体风险评估表

附录 C.1 隐患因素评分表

表 C.1-1 隐患因素评分表

| 运营风险评分项目 | 最大分值 | XX 隧道得分 |
|---------------------|------|---------|
| R1 隧道重要度 | 100 | |
| R1-1 国家高速公路网 | 100 | |
| R1-2 地方高速公路网 | 50 | |
| R1-3 具备干线功能的一级公路 | 30 | |
| R1-4 一级公路用作集散公路时 | 20 | |
| R2 交通绩效 | 100 | |
| R3 车道交通量 | 100 | |
| R4 大型车交通绩效 | 100 | |
| R5 危险货物运输车辆通行 | 100 | |
| R6 路面条件 | 100 | |
| R6-1 路面类型 | 20 | |
| R6-2 路面损坏状况指数 (PCI) | 30 | |
| R6-3 路面跳车指数 (PBI) | 20 | |
| R6-4 路面抗滑性能指数 (SRI) | 30 | |
| R7 隧道线形 | 100 | |
| R7-1 长下坡+平面曲线 | 100 | |
| R7-2 长下坡+平面直线 | 50 | |
| R7-3 纵坡小于 2%+平面直线 | 20 | |
| R8 土建结构 | 100 | |
| R8-1 洞口 | 15 | |
| R8-2 洞门 | 5 | |
| R8-3 衬砌 | 40 | |
| R8-4 检修道 | 7 | |
| R8-5 排水系统 | 6 | |
| R8-6 吊顶及各种预埋件 | 10 | |
| R8-7 内装饰 | 7 | |
| R8-8 标志、标线、轮廓线 | 10 | |
| R9 其它风险 | 100 | |
| R9-1 拥堵情况 | 30 | |
| R9-2 气象、地质条件 | 70 | |

附录 C.2 保障因素评分表

表 C.2-1 照明系统评分表

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 | 得分 |
|------|--------------------|---|------|----|
| 照明系统 | 路面平均亮度 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 40 分; 满足现行规范要求, 得 30 分; 不满足, 得 0 分。 | 40 | |
| | 亮度纵向均匀性 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 30 分; 满足现行规范要求, 得 22.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 30 | |
| | 隧道两侧墙壁 2 米高范围内平均亮度 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 20 分; 满足现行规范要求, 得 15 分; 不满足, 得 0 分。 | 20 | |
| | 引道照明 | 有洞外引道照明且优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足或无, 得 0 分。 | 10 | |
| 总 分 | | | 100 | |

注: 现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2)、《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01)。

表 C.2-2 供配电系统评分表

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 | 得分 |
|-------|----------------|---|------|----|
| 供配电系统 | 外电源 | 双重电源供电, 得 30 分; 两回路电源线路供电, 得 22.5 分; 单回路电源线路供电, 得 12 分。 | 30 | |
| | 双电源自动投入装置 | 有, 得 10 分; 无, 得 0 分 | 10 | |
| | 应急电源装置 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 | |
| | 不间断电源装置 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 | |
| | 隧道电力监控系统 | 有, 得 10 分; 无, 得 0 分。 | 10 | |
| | 电气火灾检测系统 | 有, 得 10 分; 无, 得 0 分。 | 10 | |
| | 消防水泵巡检系统 | 有, 得 10 分; 无, 得 0 分。 | 10 | |
| | 消防用电设备配电线路末端切换 | 有, 得 10 分; 无, 得 0 分。 | 10 | |
| 得 分 | | | 100 | |

注: 现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2)、《建筑设计防火规范》(GB 50016)、《民用建筑电气设计规范》(JGJT16)、《供配电系统设计规范》(GB50052)、《低压配电设计规范》(GB50054)、《火灾自动报警系统设计规范》(GB50116)。

表 C.2-3 交通监控系统评分表

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 | 得分 |
|--------|-----------------------|---|------|----|
| 交通监控系统 | 拥堵频率 | 低（偶尔），得 20 分；中（早晚高峰时段），得 5 分；高（常态），得 0 分。 | 20 | |
| | 隧道监控中心及人员值守 | 设置监控中心且有人员值守，得 20 分；设置监控中心，得 10 分；没有设置监控中心，得 0 分。 | 20 | |
| | 危险货物运输车辆通行管理 | 禁止通行，得 20 分；在有引导车的情况下限制通行，得 10 分；无限制通行，得 0 分。 | 20 | |
| | 摄像机间距 | 优于现行规范 ¹ 要求，视情况得分，最高得 10 分；满足现行规范要求，得 7.5 分；不满足，得 0 分。 | 10 | |
| | 视频事件检测系统 | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 | |
| | 洞内、洞外可变情报板 | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 | |
| | 关闭隧道物理措施 ² | 有，得 10 分；无，得 0 分。 | 10 | |
| 总 分 | | | 100 | |

注：1 现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》（JTGD70/2）。

2 “关闭隧道物理措施”是指能够远程控制自动关闭隧道的措施，例如“电动栏杆”。

表 C.2-4 通讯系统评分表

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 | 得分 |
|------|---------------|--|------|----|
| 通讯系统 | 隧道全线及洞口覆盖有线广播 | 洞内、外均设置，得 30 分；仅洞内设置，得 20 分；无，得 0 分。 | 30 | |
| | 隧道内无线调频广播 | 有，得 10，无，得 0。 | 10 | |
| | 紧急电话及设置间距 | 间距≤100米，得 30 分；间距为 200m，得 18 分；100m<间距≤200m 时取线性插值；间距>300m 或无，得 0 分。 | 30 | |
| | 隧道内移动信号强度 | 所有运营商均覆盖，得 30 分；部分运营商覆盖，得 10 分；无移动信号覆盖，得 0 分。 | 30 | |
| 总 分 | | | 100 | |

注：其他间距取值为线性插值后四舍五入取整数。

表 C.2-5 逃生与救援系统评分表

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 | 得分 |
|---------|----------|--|------|----|
| 逃生与救援系统 | 紧急停车带 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 15 分; 满足现行规范要求, 得 11.25 分; 不满足, 得 0 分。 | 15 | |
| | 人行横通道 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 15 分; 满足现行规范要求, 得 11.25 分; 不满足得 0 分。 | 15 | |
| | 人行横通道间距 | 间距 $\leq 250m$, 得 20 分; 间距 300m, 得 12 分; $250m < \text{间距} \leq 300m$ 时取线性插值; 间距 $> 300m$ 时, 得 0 分。 | 20 | |
| | 车行横通道 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 15 分; 满足现行规范要求, 得 11.25 分; 不满足, 得 0 分。 | 15 | |
| | 车行横通道间距 | 间距 $\leq 200m$, 得 20 分; 间距 500m, 得 12 分; $200m < \text{间距} < 500m$ 时, 取线性插值; 间距 $> 500m$ 时, 得 0 分。 | 20 | |
| | 隧道洞口联络通道 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 5 分; 满足现行规范要求, 得 3.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 5 | |
| | 疏散指示标志 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 | |
| 总 分 | | | 100 | |

注: 现行规范包括《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)、《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2)

表 C.2-6 通风系统评分表

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 | 得分 |
|------|-------------|---|------|----|
| 通风系统 | 通风环境监测设施 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足得 0 分。 | 10 | |
| | 通风控制设施 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足得 0 分。 | 10 | |
| | 隧道纵向通风风向 | 可控制, 得 10 分, 不可控制, 得 0 分。 | 10 | |
| | 通风设备的耐高温性能 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足得 0 分。 | 10 | |
| | 排烟风机能否正常、可控 | 能够快速、准确地开启, 得 20 分; 能够开启, 得 10 分; 不能开启, 得 0 分。 | 20 | |
| | 排烟射流风机逆向转动 | 能够逆转, 得 10 分; 不能, 得 0 分 | 10 | |
| | 排烟阀是否正常、可控 | 正常、可控, 得 10 分; 正常、不可控, 得 5 分, 不能开启, 得 0 分。 | 10 | |
| | 火灾排烟策略 | 制定火灾排烟策略并定期开展演练, 得 20 分; 制定火灾排烟策略未定期开展演练, 得 10 分; 无火灾排烟策略, 得 0 分。 | 20 | |
| 总 分 | | | 100 | |

注: 现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D70/2)、《公路隧道通风设计细则》(JTG/T D70/2-02)。

表 C.2-7 火灾自动报警与防火灭火设施评分表

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 | 得分 |
|---------------|----------|---|------|----|
| 火灾自动报警与防火灭火设施 | 火灾自动报警系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 25 分; 满足现行规范要求, 得 18.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 25 | |
| | 火灾声光报警器 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 | |
| | 手动报警按钮 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 | |
| | 结构防火 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 5 分; 满足现行规范要求, 得 3.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 5 | |
| | 电缆防火 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 5 分; 满足现行规范要求, 得 3.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 5 | |
| | 灭火器系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 | |
| | 消火栓系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 20 分; 满足现行规范要求, 得 15 分; 不满足, 得 0 分。 | 20 | |
| | 泡沫水喷淋系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 10 分; 满足现行规范要求, 得 7.5 分; 不满足, 得 0 分。 | 10 | |
| | 气体灭火系统 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 5 分; 满足现行规范要求, 得 3.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 5 | |
| 总分 | | | 100 | |

注: 现行规范包括《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTGD70/2)、《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB50974)、《建筑灭火器配置设计规范》(GB50140)、《火灾自动报警系统设计规范》(GB50116)。

表 C.2-8 结构健康监测系统评分表

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 | 得分 |
|--------------|----------|----------------------|------|----|
| 结构健康 监测系统 | 健康监测系统 | 有, 得 25 分; 无, 得 0 分。 | 25 | |
| | 监测数据自动采集 | 有, 得 25 分; 无, 得 0 分。 | 25 | |
| | 监测数据分析功能 | 有, 得 25 分; 无, 得 0 分。 | 25 | |
| | 监测预警功能 | 有, 得 25 分; 无, 得 0 分。 | 25 | |
| 总 分 | | | 100 | |

表 C.2-9 应急管理评分表

| 评价指标 | 分项指标 | 定性定量指标 | 最大分值 | 得分 |
|------------------------------------|-------------|---|------|----|
| 应急管理 | 隧道应急预案 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 15 分; 满足现行规范要求, 得 11.25 分; 不满足, 得 0 分。 | 15 | |
| | 隧道应急管理系統 | 有, 得 8 分; 无, 得 0 分。 | 8 | |
| | 自动通报事故信息 | 有, 得 8 分; 无, 得 0 分。 | 8 | |
| | 自动形成救援方案 | 有, 得 5 分; 无, 得 0 分。 | 5 | |
| | 应急设施联动控制 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 5 分; 满足现行规范要求, 得 3.75 分; 不满足, 得 0 分。 | 5 | |
| | 应急救援站 | 优于现行规范要求, 视情况得分, 最高得 15 分; 满足现行规范要求, 得 11.25 分; 不满足, 得 0 分。 | 15 | |
| | 定期的应急演练 | 有, 得 5 分; 无, 得 0 分。 | 5 | |
| | 救援人员的定期培训 | 有, 得 4 分; 无, 得 0 分。 | 4 | |
| | 应急救援队抵达火场时间 | 5min 以内得 25 分, 10min 以内得 15 分, 30min 以内得 5 分。 | 25 | |
| | 专用救援车辆 | 有, 得 5 分; 无, 得 0 分。 | 5 | |
| 救援装备 | | | 5 | |
| 装备齐全, 得 5 分; 部分装备, 得 3 分; 无, 得 0 分 | | | 5 | |
| 总 分 | | | 100 | |

附录 D 隧道运营安全风险评估报告格式

1. 封面示例见图 D-1。
2. 扉页一
 - ① 扉页一应署明：评估报告编制单位名称（加盖公章）。
 - ② 评估小组负责人，并应亲笔签名。
 - ③ 扉页一示例见图 D-2。
3. 扉页二
 - ① 评估小组人员名单和职称。
 - ② 扉页二示例见图 D-3。
4. 概述
5. 目录
6. 正文
7. 附件

评估项目名称 (二号宋体)

运营安全风险评估报告 (一号黑体加粗)

编制单位: (四号宋体加粗)

报告完成日期 年 月 日

图 D-1 评估报告封面示意图

评估项目名称（三号宋体）

运营安全风险评估报告（二号宋体加粗）

编制单位：（四号宋体加粗）
评估小组负责人：（四号宋体加粗）

日期：年月日

图 D-2 封页一示意图

主要参加人员：

XXX（研究员）

XXX（高级工程师）

XXX（教授级高工）

XXX（高级工程师）

XXX（教授级高工）

XXX（高级工程师）

XXX（教授级高工）

XXX（工程师）

XXX（高级工程师）

XXX（工程师）

图 D-3 扉页二示意图

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，非这样做不可的用词，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) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”、“应符合本规范第×.×节的有关规定”、“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”。