

DB51

四川省地方标准

DB51/T 2599—2019

公路明(棚)洞勘察设计指南

Guide for Investigation and Design of Road Tunnel

2019 - 08 - 22 发布

2019 - 09 - 01 实施

四川省市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 2

5 控制要素 3

6 地质勘察 3

7 总体设计 8

8 建筑限界 10

9 建筑材料 14

10 结构计算 16

11 结构设计 19

12 防水与排水 23

13 基础设计 24

14 回填设计 25

15 机电及其他设施 26

16 质量检验与工程验收 27

用词说明 28

附录 A（规范性附录） 落石冲击动能计算方法（供参考） 29

附录 B（规范性附录） 明（棚）洞落石冲击荷载计算方法（供参考） 30

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 的规定编制。

本标准由四川省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：四川省交通勘察设计研究院有限公司。

主要起草人：袁松、廖沛源、王希宝、张廷彪、张生、邵林、李兴陆、郑国强、赵鹏、黎良仆、刘四昌、王屹、李杰、庄卫林、刘云辉、周威锦、甘立松、魏记承、周科、骆才宾、王明镜。

本标准由四川省市场监督管理局首次发布。

引 言

近年来，多次山区强烈地震后的公路震害显示，对公路破坏最大、抢通保通难度最大、破坏影响最深远的是山体滑坡和高位崩塌等次生地质灾害。自从汶川地震后，应对山体滑坡、高位崩塌的技术对策已引起有关各方高度重视。在公路原位恢复重建中采用明（棚）洞防护结构成为公认的有效解决方案，特别是在四川山区公路中尤为常见。

目前国内现行的《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）、《公路隧道设计细则》（JTG/T D70）等均没有对公路明（棚）洞结构勘察设计提供明确的细化规定及相应的设计对策，没有完善的设计指南供设计人员参考。为更好的推进和规范四川省明（棚）洞防护体系标准化勘察设计工作，对现行国家规范补充完善，四川省交通运输厅组织四川省交通勘察设计研究院有限公司编制了本《指南》。

本《指南》是根据我公司总结已经建成的大量明（棚）洞勘察设计经验教训，结合相关科研项目成果，针对我省自然条件、地形地质工程特点，较为系统地进行编制。具有较强的可操作性及适用性，可作为明（棚）洞防护体系勘察、设计、咨询过程中的参考。

鉴于编者学识水平，本指南有不妥之处在所难免。如发现本指南有需要修改和不足之处，请及时将意见寄交四川省交通勘察设计研究院有限公司（地址：四川省成都市太升北路35号，邮编：610017），以便今后修订时参考。

四川省交通勘察设计研究院有限公司
二〇一九年七月

公路明(棚)洞勘察设计指南

1 范围

为了细化和完善公路明洞、棚洞勘察设计中的关键及细节问题，保障公路行车安全，进一步提高勘察设计技术与质量，制定本指南。本指南主要适用于四川省行政区划内新建、改扩建的各等级公路上的明洞、棚洞工程，抢险救灾工程可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

- 《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）
- 《公路工程技术标准》（JTG B01）
- 《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）
- 《公路隧道设计细则》（JTG/T D70）
- 《公路路线设计规范》（JTG D20）
- 《钢筋混凝土结构设计规范》（GB 50010）
- 《钢结构设计规范》（GB50017）
- 《建筑结构荷载规范》（GB50009）
- 《碳素结构钢》（GB/T 700）
- 《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591）
- 《建筑结构用钢板》（GB/T 19879）
- 《厚度方向性能钢板》（GB/T 5313）
- 《耐候结构钢》（GB/T 4171）
- 《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

明洞 open-cut tunnel

用明挖法修建的钢筋混凝土结构。

3.2

拱形明洞 arch open-cut tunnel

为防御塌方、落石、泥石流、积雪等，用明挖法修建的、然后进行覆盖的、供汽车和行人通行的拱形钢筋混凝土结构。

3.3

矩形明洞 rectangle open-cut tunnel

为防御塌方、落石、泥石流、积雪等，用明挖法修建的、然后进行覆盖的、供汽车和行人通行的矩形钢筋混凝土结构。

3.4

棚洞 hangar tunnel

建于公路上的棚式建筑物。

3.5

钢筋混凝土棚洞 reinforced-concrete hangar tunnel

为防御塌方、落石、泥石流、积雪等而修建的钢筋混凝土棚式建筑物。

3.6

钢棚洞 steel hangar tunnel

为防御塌方、落石、积雪等而修建的钢结构棚式建筑物。

3.7

柔性棚洞 flexible hangar tunnel

为防御小型落石、积雪等灾害或有遮光需求，主体结构覆盖层采用柔性材料，基于耗能减震原理制作而成的棚式建筑物。

4 总则

4.1 本指南是根据现行国家标准和交通运输部颁布的有关公路勘察设计的标准、规范、规程和办法，结合四川省省情进行编制，未尽事宜应按现行国家标准和交通运输部颁布的有关公路勘察设计的标准、规范、规程和办法执行。

4.2 本指南适用于四川省新建、改扩建的各等级公路，抢险救灾工程可参照使用。

4.3 本指南所指明（棚）洞为处治边斜坡不良地质病害而设置的明（棚）洞，若公路隧道洞口段不良地质病害需要防护时可参照使用。

4.4 公路明（棚）洞的设计，应坚持“安全、经济、适用、先进”的理念，综合考虑施工、养护、管理等成本效益，注重节约资源及保护环境，有条件时可采用装配式结构。

4.5 公路明（棚）洞勘察设计原则：

- a) 公路明（棚）洞一般是为了防治公路边坡崩塌、落石、泥石流等不良地质问题而设置。
- b) 公路明（棚）洞的勘察设计应坚持“安全适用、质量可靠、经济合理、技术先进”的原则。

- c) 公路明（棚）洞应确保使用寿命，提高抗灾能力，提升公路安全性能。
- d) 应合理评估不良地质发生的类型、规模、频率及危险性，结合地形、地质条件选择合理的明（棚）洞防护类型；超出明（棚）洞防护能力范围的情况时应考虑绕避方案。
- e) 设置明（棚）洞时应对其技术方案进行充分论证，确保防护的有效性。
- f) 应符合明（棚）洞段落的路线总体设计，满足视距要求，尽量避免超高过大的情况，应充分重视交通安全设施的设计。
- g) 公路明（棚）洞一般情况下宜按永久性结构设计，充分考虑结构的耐久性要求。
- h) 公路明（棚）洞应设置在稳定的地层中。

4.6 公路明（棚）洞必须纳入公路主体工程同期实施。

5 控制要素

5.1 公路明洞通常按断面形状可分为两类，棚洞通常按建筑材料分为三类，见表 1。

条文说明：

公路明（棚）洞根据不同的特征有多种分类方式，明洞按照断面形状分类、棚洞按照建筑材料分类是最常用的分类方式，虽然二者分类方式不同，但能够较为准确的体现各种类型的技术特征，因此《指南》在编制中沿用了这样的分类方法。

5.2 公路明（棚）洞根据其横断面布置形式可分为三类，见表 2。

表1 公路明（棚）洞分类

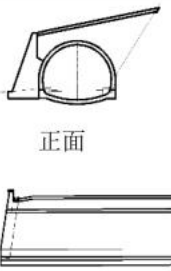
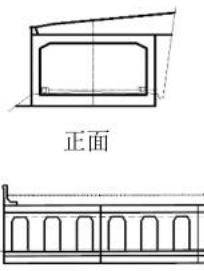
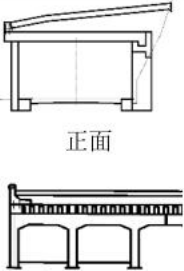
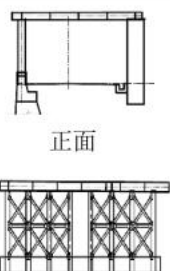
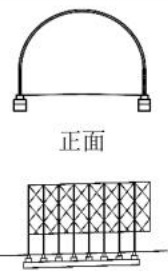
分类	明洞		棚洞		
子类	拱形明洞	矩形明洞	钢筋混凝土棚洞	钢棚洞	柔性棚洞
图示					
	正面 侧面	正面 侧面	正面 侧面	正面 侧面	正面 侧面
特点	上部采用弧形，类似于山岭隧道明洞，钢筋混凝土结构	结构为矩形框架，钢筋混凝土结构	结构由顶梁、内墙、外侧支承结构组成，钢筋混凝土结构	结构由顶梁、立柱、内墙组成，钢结构	结构由主拱架、柔性防护网组成，一般采用钢结构

表2 公路明（棚）洞按横断面布置形式分类

分类	特点
单孔	同一断面布置一座独立的明（棚）洞
双孔	同一断面并排布置相连的两座明（棚）洞
多孔	同一断面并排布置三座及以上的明（棚）洞

6 地质勘察

6.1 一般规定

6.1.1 选择明（棚）洞位置时，应结合路线总体设计，并进行经济技术比较，尽量绕避不良地质体；当绕避困难时，宜选择合适位置以较短距离通过。

6.1.2 因防护危岩落石、崩塌、泥石流等地质灾害而设置明（棚）洞时，应开展危岩落石、崩塌岩堆、泥石流等不良地质及明（棚）洞场地勘察工作，其成果应满足明（棚）洞设计和施工要求。

6.1.3 应根据明（棚）洞结构特点、不良地质情况及相应勘察设计阶段的要求，制定地质勘察方案。

6.1.4 明（棚）洞勘察应进行资料收集和地质调绘，并加强地质勘探与取样试验工作；在调绘、勘探和试验的基础上，提供岩土体基本参数，并进行危岩崩塌岩堆与地基综合分析评价。

6.1.5 高位危岩体、泥石流等难以到达现场，调查和测量宜采用无人机摄影辅助调查、数码摄影测量、三维激光扫描等先进方法进行。

6.1.6 大型危岩体或高位崩塌，经评估后的冲击能量超过明（棚）洞承载能力时，应考虑绕避方案，或增加多道防护措施。

6.1.7 明（棚）洞场地为覆盖层且抗冲刷能力差、又面临河流冲刷或泥石流切割河（沟）床时，应分析评价场地抗冲刷稳定性。

6.2 勘察内容与方法

6.2.1 地质调查与测绘

- a) 地形地貌的类型及形态特征，气象、水文及地震动参数资料。
- b) 地层岩性、软质岩与硬质岩的分布情况、岩石的风化程度。
- c) 地质构造特征，节理、层理、断裂等结构面的产状、规模、结合程度，边坡岩体的结构类型和完整性。
- d) 地表水和地下水类型、分布、成因、水质、水量。
- e) 危岩崩塌的类型、规模、分布范围及崩塌、落石情况。
- f) 岩堆的类型、分布范围、物质组成及稳定性。
- g) 调查访问灾害点灾害发育历史，包括发生时间及频率、单次失稳规模、落石运动路径、危害范围、落石粒径大小等。
- h) 测绘典型边坡地质剖面，上部超出崩塌源位置，下部超过崩塌落石最远危害范围。
- i) 泥石流地段的类型、规模、分布范围。
- j) 调查最大雪压或积雪深度资料。
- k) 调查可用于回填的地材。

条文说明：

灾害发育历史不局限于本条款中所列出的崩塌、落石、泥石流，还包括地震、暴雨引起的次生灾害。在冰冻区还应重视回填材料的抗冻融特性。

6.2.2 地质勘探与测试

- a) 明（棚）洞场地勘探应以钻探为主，查明地基情况；坡面勘探应以调绘为主，查明不良地质体规模、分布等情况。

- b) 查明地基的地层结构、岩土类型及其物理力学性质、承载力。
- c) 查明边坡与地基岩土体的锚固条件及地基的嵌固条件。
- d) 应做危岩体块体尺寸分析与崩塌岩堆块体尺寸统计分析，提出落石最大粒径标准值。
- e) 宜做现场落石试验，定量掌握落石的滚落路径、跳跃高度、影响范围。
- f) 危岩崩塌、岩堆室内测试项目可按表 3 选用。

表3 危岩崩塌、岩堆测试项目表

测试项目		符号	单位	粉土、粘性土	砂土、碎石土	岩石
颗粒分析			%	+	+	
天然含水率		W	%	(+)	(+)	
密度		ρ	g/cm ³	(+)	(+)	
塑限		W _p	%	+		
液限		W _L	%	+		
天然休止角		ϕ	°		(+)	
剪切试验	黏聚力	c	kPa	(+)		
	内摩擦角	ϕ	°	(+)		
抗压强度		R _c	MPa			(+)
注：“+”为必做项目；“(+)”为选做项目。						

6.2.3 危岩崩塌预测与评估

- a) 勘察阶段应根据调查与测绘，结合已有崩塌岩堆发育特征，分析预测可能的崩塌规模和落石特征参数。
- b) 分析评估边坡岩土体失稳风险、单次失稳岩体规模、岩块块体尺寸，分析预测失稳岩土体坡面运动路径、弹跳高度、危害范围等，分析评估明（棚）洞结构的适用性。
- c) 对拟设明（棚）洞位置处的落石冲击动能进行预测，确定落石冲击动能设计值，计算方法可参见附录 A。

6.3 可行性研究工程地质勘察

6.3.1 目标与任务

收集现有工程地质资料，研究项目所在地的地质环境，了解明（棚）洞选址区一般地质条件、危岩崩塌产生条件及其规模、类型、范围，对明（棚）洞建设适宜性进行评价，为明（棚）洞工程方案的比选和编制可行性研究报告等提供地质资料。

6.3.2 勘察内容

- a) 研究明（棚）洞选址区地形、地貌、地层岩性、构造、不良地质、水文、气象、地震等条件及其与明（棚）洞的关系，对选址区的工程地质条件作出初步评价。
- b) 进行危岩崩塌专项评价、地基专项评价等工程地质工作，概略了解明（棚）洞选址区危岩崩塌岩堆发育条件、形态特征等。

6.3.3 勘察方法

以收集区域地质资料、遥感地质、航空摄影、调查、测绘为主，必要时可根据地基岩土发育情况进行钻探和测试。

6.3.4 资料编制

- a) 工程地质说明中应结合所收集资料，阐述明（棚）洞所防护的危岩崩塌落石发育特征；进行明（棚）洞方案比选，提出下阶段工程地质勘察工作建议。
- b) 在全线工程地质图中标明危岩崩塌落石岩堆的分布位置。

6.4 初步工程地质勘察

6.4.1 目标与任务

在可行性研究成果的基础上，应基本查明各方案明（棚）洞场地的工程地质、水文地质条件，并对明（棚）洞工程场地进一步做好工程地质比选工作，为初步选定明（棚）洞位置、设计方案、基础方案和编制初步设计文件提供必要的工程地质依据。

6.4.2 勘察内容

- a) 地形地貌的类型及形态特征，气象、水文及地震动参数资料。
- b) 地层岩性、软质岩与硬质岩的分布情况、岩石的风化程度。
- c) 地质构造特征，节理、层理、断裂等结构面的产状、规模、结合程度，边坡岩体的结构类型和完整性。
- d) 地表水和地下水类型、分布、成因、水质、水量和环境水的腐蚀性。
- e) 危岩体边坡岩体结构特征，危岩体分布位置、规模和稳定性。
- f) 崩塌的类型、规模、分布范围及崩塌、落石情况。
- g) 岩堆的类型、分布范围、物质组成及稳定性。
- h) 泥石流类型、分布、规模、成因、发生的时间及频率。
- i) 泥石流的冲淤情况、流动痕迹、沟谷转弯及沟道狭窄处最高泥痕的位置。
- j) 地基覆盖层的厚度、土质类型、分布范围、地层结构、密实度和含水状态。
- k) 基岩的埋深、起伏形态，地层及其岩性组合，岩石的风化程度及节理发育程度。
- l) 地基岩土的物理力学性质及承载力。

6.4.3 勘察方法

收集区域地质资料，对明（棚）洞场地的危岩落石、崩塌岩堆进行调查、测绘，进行地球物理勘探及钻探、测试工作。

- a) 收集区域性地质资料及场地历史崩塌落石资料。
- b) 地质调绘
 - 1) 结合路线及明（棚）洞的工程方案比选进行 1:2000 工程地质调绘，调绘范围应包括危岩落石、崩塌岩堆发育区及对明（棚）洞稳定性有影响的区域。
 - 2) 对控制岩体稳定的层理、断层、泥化夹层、层间错动带等软弱结构面，应结合危岩、崩塌稳定性分析，采用挖探、钻探、硇探等探明。
 - 3) 地下水的补、径、排条件以及地下水与崩塌、泥石流的相互关系。
- c) 可选用二维、三维地震法，高密度电法、地质雷达等地球物探手段综合勘探危岩坡体的完整性及风化程度，崩塌、岩堆等的发育及变化特征。

6.4.4 钻探、测试

- a) 勘探点的数量和位置应根据地形地质条件及危岩、崩塌与岩堆的发育特点确定，明（棚）洞地基勘察应根据基础方案布置勘探点数量和位置。
- b) 勘探深度应至稳定地层中不小于 3m，且应大于最大块石直径的 1.5 倍。明（棚）洞采用桩基础时，勘探点深度应满足公路桥梁的规定。
- c) 钻探应分层采取土样，取样后应立即做动力触探试验或标贯测试。
- d) 钻探过程中遇地下水时，应量测地下水的初见水位和稳定水位。
- e) 室内测试项目可根据勘察要求按表 3 选择。
- f) 应做危岩体块体尺寸分析与崩塌岩堆块体尺寸统计分析，提出落石最大粒径标准值。
- g) 有条件时，宜结合现场条件做简易岩块滚落试验，了解落石的滚落途径、方向、跳越高度、影响范围。

6.4.5 资料编制

- a) 工程地质说明：应对本规范勘察所要求查明的内容进行说明，分析危岩、岩堆稳定性，评价崩塌、落石可能发育情况、规模和影响范围，对明（棚）洞工程方案设计提出工程地质建议。
- b) 图表资料：应对危岩落石崩塌的分布及威胁影响范围、岩堆的分布范围、软质岩与硬质岩的分布情况、张拉裂隙产状、岩堆的地层结构等进行图示和说明。提供 1:500~1:2000 工程地质平面图；1:200~1:500 工程地质断面图；1:50~1:200 工程地质钻孔柱状图；1:50~1:200 探坑（井、槽）展示图；土工试验资料；物探测试图表；原位测试图表；现场照片等。

6.5 详细工程地质勘察

6.5.1 目的与任务

- a) 根据已批准的初步设计文件所确定的修建原则、设计方案、技术要求等资料，有针对性地进行工程地质勘察工作，为编制施工图设计文件，提供准确、完整的工程地质资料。
- b) 在初步勘察成果基础上，根据设计需要进一步查明明（棚）洞场地工程地质条件。

6.5.2 勘察内容

在调查测绘、现场测试、计算分析基础上，评价场地危岩崩塌稳定性，提出落石冲击动能参数、崩塌堆积范围和高度，查明泥石流过流流量和堆积形态特征等。

6.5.3 勘察方法

详勘阶段勘察方法以钻探为主，辅以必要的物探与原位测试。

6.5.4 钻探

在确定的线位及明（棚）洞结构布置基础上，进一步查明地基地质结构及稳定性。

6.5.5 测试

- a) 室内测试项目可根据勘察要求按表 3 选择。
- b) 详勘阶段应做危岩体块体尺寸分析与崩塌岩堆块体尺寸统计分析，提出落石最大粒径标准值；宜结合现场条件做简易岩块滚落试验，了解落石的滚落途径、方向、跳越高度、影响范围。

6.5.6 资料编制

应在初勘要求基础上,提供设计所需岩土体的物理力学参数及环境水的腐蚀性。给出明(棚)洞方案及基础型式建议。

7 总体设计

7.1 一般规定

7.1.1 公路明(棚)洞平纵线型、建筑限界、净空断面、主体结构应按照《公路工程技术标准》(JTG B01)规定的技术标准进行设计。

7.1.2 公路明(棚)洞设计过程中,应根据公路等级、不良地质类型及对公路的危害性等控制因素合理确定明(棚)洞结构类型。

7.1.3 明(棚)洞设计应综合考虑公路总体功能、防护特殊需要、对生态环境影响、可持续发展等方面要求,树立全寿命周期成本的设计新理念,保证明(棚)洞主体结构稳定可靠,避免运营期间病害的发生。

7.1.4 明(棚)洞设计应遵循以下原则:

- a) 应遵循公路总体设计。明(棚)洞内外平纵线形应协调,符合行车安全与行车舒适的要求;明(棚)洞断面布置形式应根据所处地质条件、周边环境等合理确定,符合经济性与施工安全的要求;明(棚)洞施工方法与施工组织应适应结构特点与地质条件,符合环境保护的要求。
- b) 应进行不良地质防护方案的比选。在地形地貌、周边环境、地质病害等调查的基础上,综合比选路基边坡防护、明(棚)洞防护、路线绕避等处治方案;当明(棚)洞长度过长时,应综合比选明(棚)洞防护与路线绕避方案。
- c) 应开展公路明(棚)洞施工方案的交通组织设计。在山区公路的改扩建项目中,明(棚)洞的布设应结合其结构特点,充分考虑施工方案和施工期间对交通组织的影响。
- d) 公路明(棚)洞与洞外结构物宜协调。结合公路等级、明(棚)洞设置情况等,对其内外防排水系统、泥石流排导系统、交通工程设施、环境保护等作综合考虑。
- e) 明(棚)洞防护结构设计中应明确其防护冲击荷载的能力。
- f) 抗震设防烈度 VII 度及以上地区,明(棚)洞应进行抗震设计。

7.1.5 明(棚)洞洞口两端连接线应设置距洞口不小于 3s 设计速度行程长度且不小于 50m 的过渡段,保持横断面的顺适过渡。

条文说明:

本条参照《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)第4.4.9条规定。

7.2 明(棚)洞的适用条件

7.2.1 明(棚)洞防护能力由高至低依次为:拱形明洞、矩形明洞、钢筋混凝土棚洞、钢棚洞、柔性棚洞。

条文说明:

明(棚)洞防护能力高低是根据各种结构的受力特点进行排序,若采用不同的结构尺寸其防护能力有所不同。

7.2.2 各类型明(棚)洞的适用条件及主要特点如表 4。

表4 公路明（棚）洞按类型分类

分类	子类	适用条件	主要特点及要求
明洞	拱形明洞	防护各类崩塌、落石、泥石流等，且建筑限界不发生变化的工点	路基外侧需要较宽的空间，对地基承载力要求较高
	矩形明洞	防护各类崩塌、落石、泥石流等	对地基承载力要求低
棚洞	钢筋混凝土棚洞	防护中小型崩塌、落石、泥石流等	路基内侧边坡不宜太缓
	钢棚洞	防护小型崩塌、落石	路基内侧边坡不宜太缓；具有施工周期短的特点
	柔性棚洞	防护规模和粒径较小的落石、防治风吹雪、遮光等	对地基承载力要求低；具有施工周期短的特点

7.2.3 明（棚）洞的结构类型，应根据地形、地质、施工条件，考虑结构安全、经济实用、美观等因素综合分析确定。

- 边坡一次塌方量大、落石较多、外侧较宽且基底地质条件较好时，宜采用拱形明洞。
- 在建筑高度受到限制或地基软弱、宽度有限的地方，宜采用矩形明洞。
- 当路基外侧地形狭窄、内外侧墙基底地质明显不同，外侧基础工程量较大或洞顶荷载较小时，可采用棚洞。

7.2.4 滑坡地段不宜修建明（棚）洞，但若采取综合整治措施能确保明（棚）洞结构安全稳定时，可修建抗滑明（棚）洞。抗滑明（棚）洞应按支挡工程设计，其构造应确保滑坡体稳定与明洞安全。

条文说明：

常规明（棚）洞一般不具备抗滑能力，抗滑明（棚）洞应设置专门的抗滑结构。

7.3 明（棚）洞线形设计

7.3.1 应根据地质、地形、路线走向、不良地质发育情况等因素确定明（棚）洞的平面线形。曲线路段有条件时，尽量采用较高指标；困难路段，可采用低指标但不宜采用极限指标。

7.3.2 明（棚）洞可采用设超高、加宽的平曲线，平曲线指标及超高、加宽应符合《公路路线设计规范》（JTG D20）的有关规定，还应按照表5的规定进行停车视距、会车视距的验算，以保证驾驶员在紧急情况下有充分的时间迅速停车，避免交通事故。

表5 公路停车视距与会车视距

公路等级	高速公路、一级公路				二、三、四级公路				
设计速度(km/h)	120	100	80	60	80	60	40	30	20
停车视距(m)	210	160	110	75	110	75	40	30	20
会车视距(m)	-	-	-	-	220	150	80	60	40

条文说明：

设置于低等级公路上的明（棚）洞不可避免的会遇到设超高与加宽的平曲线，因此为保证行车安全，本条专门提出超高、加宽的设置需要满足《公路路线设计规范》（JTG D20）的要求，同时要视距验算。

7.3.3 高速公路、一级公路独立设置的明（棚）洞，建筑限界宽度宜与路基建筑限界宽度相同，采用整体式路基进行设计。当对左右幅路基中央分隔带有特殊宽度要求时，可按照上下行分离式路基设计。

条文说明：

本条参照《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》第11.5.3条规定。

7.3.4 明（棚）洞内纵面线形应考虑行车安全、排水要求等，一般情况下应满足《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）中对隧道所提出的纵面线形要求；当条件困难需要采用较大纵坡时，应结合行车安全性进行充分的技术经济综合论证，但应满足《公路路线设计规范》（JTG D20）对各等级公路纵坡的一般要求。

7.3.5 当明洞纵坡超过 6%时，宜设置明洞结构纵向抗滑移措施；当棚洞纵坡超过 5%时，宜设置棚洞顶梁纵向抗滑移措施。

条文说明：

本条从纵向抗滑移的角度提出纵坡过大时宜设置抗滑措施，设计中也可通过计算确定是否需要设置纵向抗滑措施。

7.3.6 凹型曲线最低点不宜设置在明（棚）洞内。若不可避免需要设置时，应充分考虑路面水排水措施。

7.3.7 明（棚）洞内纵坡的变换不宜过大、过频，以保证行车安全视距和舒适性。

7.3.8 高速公路、一级公路两座明（棚）洞相邻间距小于 50m 时，宜将二者连通设置。

条文说明：

《公路隧道设计细则》（JTG/T D70）第4.3.7条提出，对于高等级公路，当洞口间距小于50m时，宜设置遮光棚。因此，本条从避免光线亮度变化频繁不利于行车安全的角度出发，提出相邻间距小于50m时宜连通设置。

8 建筑限界

8.1 公路明（棚）洞建筑限界

8.1.1 公路明（棚）洞建筑限界标准应符合《公路工程技术标准》（JTG B01）的规定。在建筑限界内不得有任何部件（包括照明、安全、监控和内装饰等附属设施）侵入。

8.1.2 高速公路、一级公路明（棚）洞，建筑限界宽度宜与路基建筑限界宽度相同，并在左侧设置余宽，右侧设置检修道，其整体式路基断面的建筑限界几何图形应按照图 1 所示进行设计，最小宽度应符合表 6 的规定。

- a) 高速公路、一级公路等单向行车的隧道，当右侧不设检修道时，应设置不小于 25cm 的余宽。
- b) 右侧硬路肩宽度取值同明（棚）洞所在路段路基标准横断面相同，以保证行车宽度一致。
- c) 高速公路和一级公路为避免中央分隔带加宽，采用连拱隧道左侧可不设置检修道的处理方式。

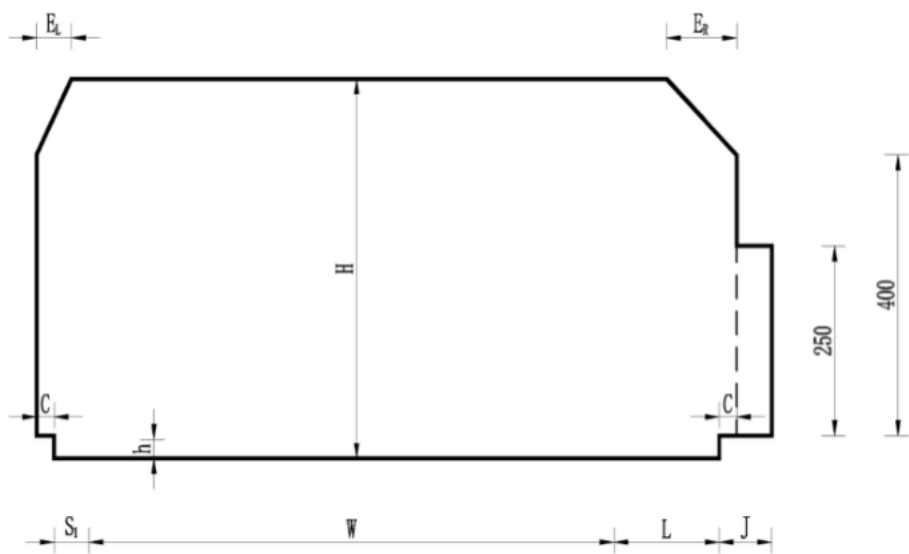


图1 单向行车公路明（棚）洞建筑限界(cm)

注：H-建筑限界高度；W-行车道宽度；L-右侧硬路肩宽度；S₁-左侧路缘带宽度(相对于行车方向)；C-余宽；J-检修道宽度；E₁-建筑限界左顶角宽度，E₁=S₁；E₂-建筑限界右顶角宽度，当L≤1m时，E₂=L，当L>1m时，E₂=1m；h-检修道高度。

表6 单向行车公路明（棚）洞建筑限界横断面组成最小宽度(m)

设计速度 (km/h)	车道宽度 W	左侧路缘带宽 度 S1	右侧硬路肩 宽度 L	余宽 C	右顶角宽度 ER	检修道宽度 J	建筑限界 净宽
120	3.75×2	0.75	同路基标准 横断面保持 一致	0.50	1.00	1.00	9.75+L
100	3.75×2	0.75		0.25	1.00	1.00	9.50+L
80	3.75×2	0.50		0.25	0.75	0.75	9.00+L
60	3.50×2	0.50		0.25	0.75	0.75	8.50+L
注1：检修道宽度包括余宽。							
注2：左侧路缘带宽度为《公路路线设计规范》（JTG D20）中所规定的一般值。							

8.1.3 二级公路、三级公路、四级公路等双向行车的公路明（棚）洞，其建筑限界几何图形应按照图 2 所示进行设计，最小宽度应符合表 7 的规定。

- a) 建筑限界高度：二级公路 5.0m；三、四级公路 4.5m；若有特殊要求时应按照公路该路段的建筑限界高度执行。
- b) 三、四级公路明（棚）洞，宜结合明（棚）洞长度、未来公路等级提高等因素拟定建筑限界，且均应设置人行道。
- c) 四级公路一般情况下均应按照双车道的标准修建；当所在路段为单车道四级公路且不具备建设双车道明（棚）洞的条件时，经技术论证可采用单车道标准建设。
- d) 二、三、四级公路因涉及曲线内侧加宽问题，同一个项目或同一座明（棚）洞均有可能出现多种不同建筑限界宽度。不同建筑限界之间的过渡应满足路基超高加宽的过渡要求，宜采用渐变过渡。

- e) 当硬路肩宽度大于侧向宽度时,行车道两侧设置硬路肩;当硬路肩宽度小于侧向宽度或不设置时,行车道两侧设置侧向宽度。

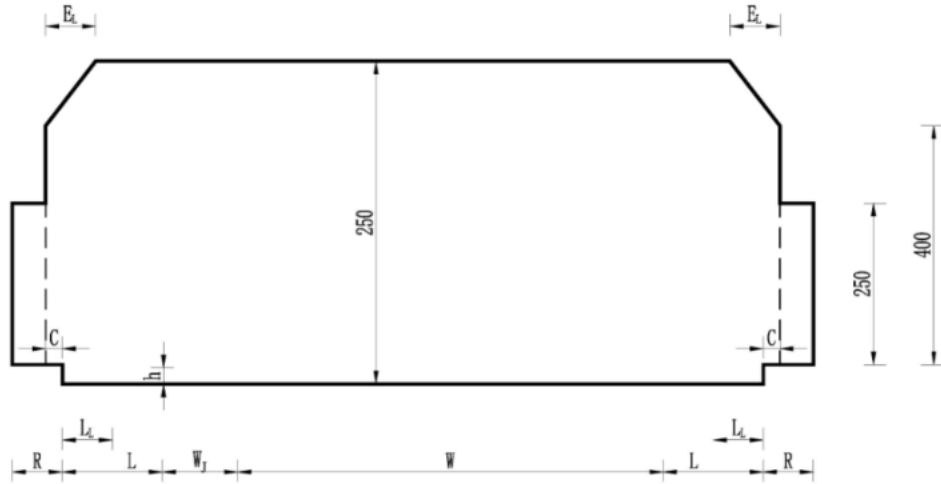


图2 双向行车公路明(棚)洞建筑限界(cm)

注: H-建筑限界高度; W-行车道宽度; W_J-行车道加宽(图示加宽方向仅为示意,应根据曲线方向加宽); L-硬路肩宽度; L_s-侧向宽度; C-余宽; R-人行道宽度; E_t-建筑限界左顶角宽度, E_t=L_s。

表7 双向行车公路明(棚)洞建筑限界横断面组成最小宽度(m)

设计速度 (km/h)	车道宽度 W	曲线内侧加 宽 WJ	硬路肩宽 度 L	侧向宽度 LL	余宽 C	人行道宽 度 R	建筑限界净宽
80	3.75×2	根据曲线最大加宽确定	同路基标准横断面要求一致	0.75	0.25	1.00	9.50+WJ+2L(LL)
60	3.50×2			0.50	0.25	1.00	9.00+WJ+2L(LL)
40	3.50×2			0.25	0.25	0.75	8.50+WJ+2L(LL)
30	3.25×2			0.25	0.25	0.75	8.00+WJ+2L(LL)
20	3.00×2			0.25	0.25	0.75	7.50+WJ+2L(LL)
注：人行道宽度包括余宽。							

8.1.4 明(棚)洞内检修道、人行道的高度 h 宜为 25cm~40cm, 最大高度不应高于 80cm。检修道、人行道高度的确定应综合考虑以下因素:

- 保障人员步行时的安全。
- 紧急情况时, 驾乘人员拿取消防设备方便。
- 符合放置电缆、光缆、给水管等所需的尺寸。
- 检修道或人行道设置的高度不宜对驾驶员的心理造成障碍。

8.1.5 明(棚)洞路面排水边沟应结合检修道、侧向宽度、余宽等布置。其宽度应小于侧向宽度, 并按路面单向横坡或双向横坡, 设置于坡低的一侧或两侧。

8.1.6 隧道洞口段设置的明(棚)洞, 其建筑限界应满足《公路隧道设计规范》(JTG 3370.1)的要求。

8.2 明(棚)洞净空断面

8.2.1 明（棚）洞内轮廓设计除应符合建筑限界的规定外，还应为洞内路面、排水设施、装饰构造提供建筑空间，为通风、照明、消防、监控、运营管理等设施提供安装空间，为结构变形及施工误差预留适当的富余量，设计断面形式及尺寸应符合安全、经济、合理的原则。

8.2.2 当明（棚）洞为单向交通时，路面横坡应取单面坡；当明（棚）洞为双向交通时，路面横坡路面坡度应根据明（棚）洞平、纵线形等因素综合分析确定。

8.2.3 明（棚）洞内正常路拱横坡应与路基标准断面保持一致，一般为 1.5%~2.0%；当明（棚）洞位于超高平曲线段时，应根据超高横坡度设置路面横坡。

8.2.4 明（棚）洞建筑限界还应满足以下规定：

- a) 当路面为单向坡时，建筑限界底边线应与路面重合，建筑限界顶边线应平行于路面。
- b) 检修道或人行道内边缘高度 h 相对于路面保持不变，设置倾向路面一侧的 0.5%~1% 的横坡。
- c) 检修道或人行道的边线应保持铅垂。
- d) 建筑限界车行道边线垂直于路面，高度保持不变。

8.2.5 明（棚）洞内轮廓断面与建筑限界之间的最小间距宜满足以下规定：

- a) 拱形明洞内轮廓与建筑限界行车限界线最小间距宜大于 20cm，与人行道或检修道限界线最小间距宜大于 5cm。
- b) 矩形明洞内轮廓与建筑限界顶部最小间距宜大于 20cm，两侧与人行道或检修道建筑限界最小间距宜大于 5cm。
- c) 钢筋混凝土棚洞、钢棚洞内轮廓与建筑限界顶部最小间距宜大于 20cm，两侧与人行道、检修道建筑限界最小间距宜大于 5cm。
- d) 柔性棚洞内轮廓与建筑限界各部位最小间距宜大于 20cm。

条文说明：

明（棚）洞内轮廓与建筑限界之间的最小间距是考虑路面加铺、结构加固不侵限、顶梁（板）被砸坏修复时需要支模空间、柔性棚洞受到荷载可能产生较大变形等因素。

8.2.6 同一座拱形明洞或棚洞宜采用相同的内轮廓设计标准，可采用单心圆或三心圆形式。

8.2.7 矩形明洞、钢筋混凝土棚洞、钢棚洞内轮廓应满足以下规定：

- a) 同一座矩形明洞、钢筋混凝土棚洞、钢棚洞应采用相同的内轮廓高度，可采用不同的内轮廓宽度。
- b) 矩形明洞内轮廓宽度不同时宜采用渐变过渡。
- c) 钢筋混凝土棚洞、钢棚洞内轮廓宽度不同时宜采用每节段突变过渡，但每次突变宽度不宜超过 50cm。
- d) 结构采用突变过渡时，人行道或检修道应采用渐变过渡且满足路基超高加宽要求。

8.2.8 明（棚）洞平面线形设计应以避免视距不足为原则，若内轮廓断面不满足视距要求，应予以加宽。保证视距的临界曲线半径 R 可按式 (1) 计算：

$$R = S^2 / 8Y \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Y ——保证视距的侧向宽度 (m)；

S——保证视距(m);

R——车道中心线的平曲线半径(m)。

左侧保证视距宽度的计算公式为(2):

$$Y_L = \frac{W_L}{2} + L_L + J \dots\dots\dots (2)$$

右侧保证视距宽度的计算公式为(3):

$$Y_R = \frac{W_R}{2} + L_R + J \dots\dots\dots (3)$$

以上两式中:

W_L 、 W_R ——车道宽度(m);

L_L 、 L_R ——侧向宽度(m);

J ——检修道宽度(m)。

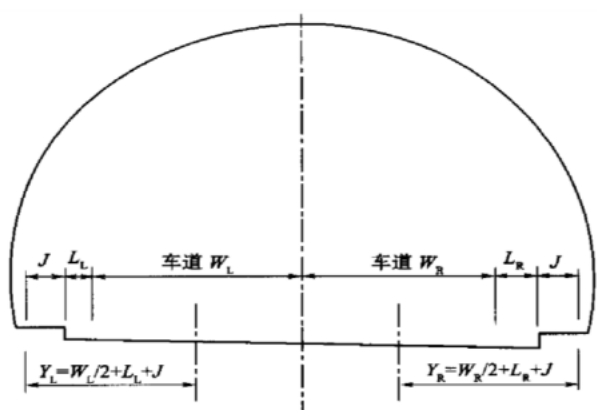


图3 保证视距宽度的计算

条文说明:

本条参照《公路隧道设计细则》(JTG/T D70)第5.2.7条规定。

9 建筑材料

9.1 明(棚)洞工程各类建筑材料:

- a) 混凝土: C50、C40、C35、C30、C25、C20、C15;
- b) 石材: MU100、MU80、MU60、MU50、MU40;
- c) 水泥砂浆: M30、M20、M15、M10、M7.5;
- d) 钢筋: HPB300、HRB400、HRB500;
- e) 钢材: Q235、Q355、Q390、Q420、Q460、Q345GJ;
- f) 柔性材料: 主动防护网、被动防护网、膜材等;
- g) 特殊缓冲材料: 聚苯乙烯、聚乙烯、聚氨酯、废旧轮胎;
- h) 其他材料: 钢波纹板、纤维材料、玻璃钢。

条文说明:

柔性材料、特殊缓冲材料、其他材料不局限于上述材料类型。

9.2 明(棚)洞工程各部位的圬工建筑材料,其强度等级应不低于表8的规定。

表8 明（棚）洞圬工建筑材料强度等级要求

工程部位		材料种类			
		混凝土	片石混凝土	钢筋混凝土	浆砌片石
明洞	拱圈、仰拱	-	-	C30	-
	矩形框架	-	-	C30	-
	侧墙	C20	-	-	-
	仰拱填充	C15	C15	-	-
	水沟、电缆槽	C25	-	C25	-
	墙背回填	C15	C15	-	M7.5
钢筋混凝土棚洞	顶梁、外侧框架	-	-	C30	-
	内侧挡墙	C20	-	-	-
	墙顶支座	-	-	C25	-
	桩基础	-	-	C30	-
	顶梁边挡块	C20	-	-	-
洞门建筑	端墙、帽石	C20	-	C25	-
	翼墙、洞口挡墙	C20	C15	C25	M10
	侧沟、截水沟	C15	-	-	M7.5
注：最冷月份平均气温低于-15℃的地区，表中的混凝土、水泥砂浆强度等级应提高一级。					

条文说明：

当对钢筋混凝土明（棚）洞抗落石冲击能力有特殊要求时，可在其结构混凝土中添加纤维等新材料。

2018 年 10 月四川省交通运输厅发布的《四川省公路水运建设项目限制、禁止使用落后工艺、设备、材料目录》中规定，在高速公路项目中禁止使用浆砌片石边沟。明（棚）洞类似项目中应参照该规定执行。

9.3 明（棚）洞建设所需各项建筑材料要求及性能指标均应满足《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）及《公路隧道设计细则》（JTG/T D70）的相关规定。

9.4 钢结构材料还应满足以下规定：

- a) 钢材质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》 GB/T 700、《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591) 和《建筑结构用钢板》(GB/T 19879) 的规定。结构用钢板、热轧工字钢、槽钢、角钢、H 型钢和钢管等型材产品的规格、外形、重量及允许偏差应符合国家现行相关标准的规定。
- b) 焊接承重结构为防止钢材的层状撕裂而采用 Z 向钢时，其质量应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》(GB/T 5313) 的规定。
- c) 处于外露环境，且对耐腐蚀有特殊要求或处于侵蚀性介质环境中的承重结构，可采用 Q235NH、Q355NH 和 Q415NH 牌号的耐候结构钢，其质量应符合现行国家标准《耐候结构钢》(GB/T 4171) 的规定。
- d) 承重结构所用的钢材应具有高屈服强度、抗拉强度、断后伸长率和硫、磷含量的合格保证，对焊接结构尚应具有高碳当量的合格保证。
- e) 焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构采用的钢材应具有冷弯试验的合格保证。

f) 对直接承受动力荷载或需验算疲劳的构件所用钢材尚应具有冲击韧性的合格保证。

10 结构计算

10.1 一般规定

10.1.1 明（棚）洞结构宜采用荷载-结构模型进行结构内力计算及强度校核。

10.1.2 明（棚）洞结构计算过程中应考虑边墙背后回填、地基对结构的弹性抗力作用。弹性抗力作用的范围、分布形式及计算方法等，应根据地质条件、结构形式、回填密实程度以及计算方法等条件确定。

10.1.3 在明（棚）洞结构上可能同时出现的荷载，应按承载能力和满足正常使用要求的检验分别进行组合，并按最不利组合进行设计。

10.1.4 明（棚）洞荷载组合时应符合下列规定：

- 计算明洞顶回填土压力，当有落石危害须检算冲击力时，可只计洞顶实际填土重力和落石冲击力的影响，不计塌方堆积土石重力。
- 当明洞上方与公路立交时，应考虑公路车辆荷载。公路车辆荷载计算应按《公路工程技术标准》（JTG B01）的有关规定执行。
- 当明洞上方与铁路立交时，应考虑列车活载。列车活载应按铁路标准活载的有关规定计算。
- 冻胀力不参与水压力及松散土压力组合。

10.1.5 本指南所列之外的特殊荷载，在荷载计算与组合时应作特殊处理。

10.2 荷载分类

10.2.1 作用在明（棚）洞支护结构上的荷载应根据其所处的地形条件、地质条件、结构特征、工作条件、施工方法、周边环境等因素综合确定。

10.2.2 作用在明（棚）洞结构之上的荷载应按表9分类。

表9 明（棚）洞荷载分类

编号	荷载分类		荷载名称
1	永久荷载		土压力（顶部设计回填荷载、内边墙土压力）
2			结构自重
3			结构附加恒载（设备自重荷载）
4			混凝土收缩和徐变的影响力
5			水压力
6			水的浮力
7			地面永久建筑荷载影响力
8			结构基础变位影响力
9	可变荷载	基本可变荷载	通过明（棚）洞内的公路车辆荷载、人群荷载
10			立交公路车辆荷载及其所产生的冲击力、土压力
11			立交铁路列车活载及其所产生的冲击力、土压力
12		其它可	立交渡槽流水或泥石流压力

编号	荷载分类		荷载名称
13		变荷载	温度变化的影响力
14			冻胀力
15			施工荷载
16			风荷载
17			雪荷载
18	偶然荷载		落石冲击力
19			地震作用力
注：边墙背后回填、地基对结构的弹性抗力不作为设计荷载。			

10.3 荷载计算

10.3.1 永久荷载的标准值计算应符合以下规定：

- 土压力应根据《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）中明洞设计荷载的计算方法计算。当内侧边坡为稳定基岩或基覆界限明确时，侧压力系数应按有限土体计算；当内侧边坡为覆盖层时，侧压力系数应按无限土体计算。
- 结构自重、结构附加恒载、混凝土收缩和徐变的影响力、水压力、水的浮力、地面永久建筑荷载影响力均应按照《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）及《公路隧道设计细则》（JTG/T D70）的相关规定计算。
- 钢筋混凝土棚洞外侧支承结构采用刚架结构，且刚架结构的基础未同时落于稳定基岩时，应考虑基础变位影响力。

条文说明：

基础变位影响力其相对变位计算值主要受地层情况、加固情况等影响，结构计算时应综合考虑各种因素，其相对变位值可选取 1~5cm。

10.3.2 基本可变荷载的标准值计算应根据《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）及《公路隧道设计细则》（JTG/T D70）的相关规定计算。

10.3.3 其他可变荷载的标准值计算应符合以下规定：

- 立交渡槽流水或泥石流流压力、温度变化的影响力、冻胀力、施工荷载应根据《公路隧道设计规范》（JTG 3370.1）及《公路隧道设计细则》（JTG/T D70）的相关规定计算。
- 风荷载、雪荷载应根据《建筑结构荷载规范》（GB50009）的相关规定计算。

10.3.4 偶然荷载的标准值计算应符合以下规定：

- 明（棚）洞若为防护落石及崩塌而设置，则应考虑落石冲击荷载。落石冲击荷载的作用可按本指南附录 B 的建议方法计算。
- 地震荷载应根据明（棚）洞抗震设防烈度下的地震动参数进行计算。抗震计算可采用拟静力法、响应位移法和时程分析法等多种方法。地震荷载可按照《公路隧道设计细则》（JTG/T D70）的相关规定计算。

10.4 荷载组合

10.4.1 明（棚）洞结构设计应根据使用过程中在结构上可能同时出现的荷载，按承载能力极限状态和正常使用状态分别进行荷载（效应）组合，并应取各自的最不利的效应组合进行设计。

10.4.2 对于承载能力极限状态,应按荷载效应的基本组合或偶然组合进行荷载(效应)组合,并应采用下列设计表达式进行设计:

$$\gamma_0 S \leq R \dots\dots\dots (4)$$

式中:

γ_0 ——结构重要性系数;高速公路、一级公路或崩塌落石风险巨大的国省干道二级公路不宜小于1.1;其他情况应为1.0;

S ——荷载效应组合的设计值;

R ——结构构件抗力的设计值,应按各有关规范的规定确定。

10.4.3 对基本组合,荷载效应组合的设计值 S 应从下列组合值中取最不利值确定:

a) 由可变荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \varphi_{ci} S_{Qik} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

γ_G ——永久荷载的分项系数,应按第10.4.4条采用;

γ_{Qi} ——第 i 个可变荷载的分项系数,其中 γ_{Q1} 为可变荷载 Q_1 的分项系数,应按第 10.4.4 条采用;

S_{GK} ——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值;

S_{Qik} ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值,其中 S_{Q1K} 为诸可变荷载效应中起控制作用者;

φ_{ci} ——可变荷载 Q_i 的组合值系数,应按照《建筑结构荷载规范》(GB50009)的规定取值,若无明确规定时可取 1.0;

n ——参与组合的可变荷载数。

b) 由永久荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{GK} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \varphi_{ci} S_{Qik} \dots\dots\dots (6)$$

注:(1)基本组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线型的情况。

(2)当对 S_{Qik} 无法明显判断时,轮次以可变荷载效应为 S_{Q1K} ,选其中最不利的荷载效应组合。

10.4.4 基本组合的荷载分项系数,应按下列规定采用:

a) 永久荷载的分项系数:

1) 当其效应对结构不利时

——对由可变荷载效应控制的组合,应取 1.2;

——对由永久荷载效应控制的组合,应取 1.35;

2) 当其效应对结构有利时

——一般情况下应取 1.0;

——对结构的倾覆、滑移或漂浮验算,应取 0.9。

b) 可变荷载的分项系数一般情况下应取 1.4,

10.4.5 对于偶然组合,荷载效应组合的设计值宜按下列规定确定:

a) 偶然荷载的标准值不乘分项系数。

b) 与偶然荷载同时出现的其他荷载可根据观测资料和工程经验采用适当的标准值。

10.4.6 当采用综合安全系数法进行结构强度校核时，各类荷载的安全系数均应取 1.0。

11 结构设计

11.1 拱形明洞结构设计

11.1.1 拱形明洞应采用带仰拱或底板的整体式钢筋混凝土结构，其衬砌厚度根据地形、地质、荷载情况，并经结构计算后综合确定，取值范围可参见表 10。

表10 拱形明洞净跨度与衬砌厚度参考值

项目	净跨度 L (m)	衬砌厚度 t (m)
拱形明洞	$5 \leq L < 9$	0.4~0.7
	$9 \leq L < 12$	0.5~0.8
	$12 \leq L < 15$	0.6~1.0
	$15 \leq L < 18$	0.7~1.2

11.1.2 拱形明洞的拱圈可采用等截面或变截面，外侧边墙宜采用直墙式。

条文说明：

当拱圈采用变截面时，拱脚厚度一般为拱顶厚度的1~1.5倍。

11.1.3 拱形明洞侧墙一般采用素混凝土结构，与衬砌按分离式结构设计；当地形条件受限时，侧墙可与拱形明洞衬砌联合设置，侧墙截面尺寸计算确定。

条文说明：

拱形明洞侧墙尺寸顶宽一般不小于0.6m，外侧斜率不小于1:0.25，并设置宽0.5~1m、高0.5~1m的墙趾。

11.1.4 拱形明洞沿路线纵向连续布置，当明洞位于地质变化较大地段时，应设置变形缝。

条文说明：

变形缝的设置应结合地质情况确定，一般情况下，石质地基变形缝间距宜为20~30m，土质地基变形缝间距宜为10~20m。

11.1.5 拱形明洞应设置洞门墙并充分考虑回填层的土压力。

11.2 矩形明洞结构设计

11.2.1 矩形明洞的布置宜根据加宽情况优先采用连续渐变的布置方式；若条件受限时也可采用突变的布置方式，相邻两节段之间的突变宽度不宜过大，一般不超过明洞衬砌厚度。

11.2.2 矩形明洞按整体式框架设计，采用钢筋混凝土结构，框架厚度根据地形、地质、荷载情况，并经结构计算后综合确定，取值范围可参见表 11。

表11 矩形明洞净跨度与衬砌厚度参考值

项目	净跨度 L (m)	衬砌厚度 t (m)
矩形明洞	$5 \leq L < 9$	0.4~0.8
	$9 \leq L < 12$	0.6~1.0
	$12 \leq L < 15$	0.8~1.2
	$15 \leq L < 18$	1.0~1.5

条文说明：

当矩形明洞跨度过大，衬砌过厚时，还可以考虑采用预应力钢筋混凝土结构，以减小衬砌厚度，提高结构承载能力。

11.2.3 矩形明洞框架四个角点位置宜设置倒角。**11.2.4 矩形明洞宜沿路线纵向分节段连续布置，节段间应设置变形缝。****条文说明：**

矩形明洞应纵向分段，每个节段长度9~20m；同一座明洞或同一个项目，纵向节段长度类型不宜太多，1~2种为宜。

11.2.5 为增强明洞的透光度，提高行车安全性，除泥石流或大规模崩塌发育段落不设开孔外，其余地段宜设置外侧开孔的矩形明洞结构。其开孔应满足以下要求：

- 开孔面积不宜超过侧墙面积的 50%，若采用矩形开孔则应在其四个角点位置设置倒角。
- 开孔周边应加强配筋。
- 开孔处宜加设防护栏杆。

11.2.6 矩形明洞应在端部设置具有挡土功能的端墙。**11.3 钢筋混凝土棚洞结构设计****11.3.1 钢筋混凝土棚洞一般规定：**

- 棚洞的结构形式和构件截面尺寸应根据地形、地质条件和荷载情况，经结构验算后确定。
- 棚洞结构的沉降缝、施工缝或变形缝应设置于同一横断面上。
- 棚洞靠山侧及顶部应铺设防水层，顶部设置不小于 2%的排水坡度，施工缝、沉降缝、变形缝应进行防水设计。
- 当棚洞外侧地形陡峻狭窄时，棚洞应设安全防护栏杆，行车道或检修道外侧也宜采取相应安全措施。

11.3.2 钢筋混凝土棚洞由顶梁（板）、内边墙、外侧支承结构三部分组成。

- 棚洞结构的顶梁（板）可采用 T 型、π 型截面梁板或空心板构件。
- 内边墙可采用普通挡土墙、抗滑挡土墙、抗滑桩等支挡结构。
- 外侧支承结构应视地形、地基条件，边坡塌方、落石等情况，选用墙式、柱式、刚架等结构类型。

11.3.3 棚洞顶梁（板）的布置方式一般采用 T 梁密排的方式，其结构构造应满足以下要求：

- 顶梁（板）一般采用钢筋混凝土 T 梁，其布置均垂直路线轴线，沿路线设计轴线均匀排布。

- b) 当顶梁采用预制构件时,宜将 T 梁翼缘板部分按湿接缝处理,顶梁安装完毕以后再浇筑翼缘板混凝土。
- c) 顶梁应整体浇筑或采用湿接缝联系成为一个整体。
- d) 顶梁内端宜设置梁翼垂榫,嵌固于内墙钢筋混凝土顶帽凹槽中。顶梁外端应设置带泄水孔的耳墙以稳定棚洞顶填土。
- e) T 形顶梁肋宽取决于主拉应力强度及钢筋布置要求。

条文说明:

棚洞顶梁(板)的布置方式主要有 T 梁密排、大梁+纵板两种类型。其中,大梁+纵板布置方式存在棚洞顶部承受冲击荷载的能力不均,纵板容易被砸穿,传递到外侧支承结构的集中荷载更大等缺点。本《指南》推荐采用 T 梁密排的顶梁布置方式。

11.3.4 棚洞内边墙结构构造应满足以下要求:

- a) 内边墙一般采用挡土墙结构,其断面厚度不宜小于 50cm。
- b) 内边墙顶应设置承托并嵌固顶梁的钢筋混凝土顶帽凹槽。
- c) 当内边墙背后岩层稳定、坚固,为减少开挖、回填、节省圬工,可采用锚杆(索)式内墙。
- d) 当内边墙背后存在覆盖层、边坡坡度较缓时,可根据地形、地质情况,综合内边墙稳定性要求,将其设计为仰斜式或俯斜式结构。
- e) 为增强结构横向稳定性,可设置锚杆将内墙锚固于山体中。
- f) 若棚洞有抗滑要求时,内边墙可根据滑坡处治的需要设置为抗滑挡墙或抗滑桩等支挡结构,但其墙顶、桩顶位移应通过计算棚洞结构所能够承受的水平位移严格控制。

11.3.5 棚洞外侧支承结构构造应满足以下要求:

- a) 外侧支承结构通常采用钢筋混凝土门型、 π 型刚架结构,10m~20m 一联。
- b) 门型或 π 型刚架结构一般由立柱、纵梁和横顶梁组成,为保证框架的稳定性,立柱、纵梁、横顶梁宜整体浇筑形成框架结构体系。
- c) 立柱下部通常采用桩基础;当地基条件较好时可采用扩大基础。
- d) 当路基宽度不足时,桩基础间可设置挡墙满足路基回填需要,同时宜在桩顶设置横向拉杆,以保证外侧框架的横向稳定性。

11.3.6 棚洞应在端部设置具有挡土功能的端墙。

11.3.7 棚洞立柱宜设置防撞设施。

11.4 钢棚洞结构设计

11.4.1 钢棚洞除满足 11.3.1 钢筋混凝土棚洞一般规定外,还应满足《钢结构设计规范》(GB 50017)的相关规定。

11.4.2 钢棚洞由顶棚、内侧支承结构、外侧支承结构三部分组成。

- a) 钢棚洞结构顶棚宜采用斜顶面,坡度不宜大于 20° 。
- b) 内侧支承结构优先采用挡土墙结构,当条件受限时可采用钢排架结构;外侧支承结构一般采用钢排架结构。
- c) 内外侧支承结构采用钢排架时应采取构造措施确保排架的纵、横向稳定性;应设置必要的防撞设施。
- d) 钢棚洞所有钢结构构件宜工厂统一加工,现场安装成型。

11.4.3 钢棚洞顶棚采用井字形梁格与顶板组成，其结构构造应满足以下要求：

- a) 井字形梁格由主次梁共同组成；垂直于路线轴线方向为主梁，为主要受力构件；平行于路线轴线方向为次梁，为纵向连接构件；主次梁一般均采用 H 型钢或工字钢。
- b) 主梁因跨度较大，需在其腹板处设置加劲肋。
- c) 顶板可采用钢板或钢筋混凝土板，当采用钢筋混凝土板时井字形梁格中的主次梁上翼缘板应设置剪力钉。
- d) 顶棚应根据顶部回填情况设置必要的四周围挡结构。

11.4.4 钢棚洞内侧支承结构若内侧支承结构采用挡土墙结构时，其结构应满足 11.3.4 的相关规定；若采用钢排架结构时，其构造应满足以下要求：

- a) 钢排架结构一般由立柱、纵向支撑、斜撑或剪刀撑组成。
- b) 钢排架结构宜 10m~20m 为一联，每一联之间应设置沉降缝。
- c) 斜撑或剪刀撑可采用钢管、槽钢、工字钢或 H 型钢。
- d) 立柱下部基础应设置混凝土基础并置于稳定的地基上，若地基承载力不足应采用扩大基础、条形基础或桩基础。

11.4.5 钢棚洞外侧支承结构一般采用排架结构，其结构构造应满足 11.3.5 的相关规定。

11.4.6 钢棚洞主要结构之间的连接宜采用螺栓连接，其构造应满足《钢结构设计规范》（GB 50017）的相关规定。

11.4.7 钢棚洞钢结构部分还应满足以下规定：

- a) 钢棚洞应有防雷电措施。
- b) 钢棚洞全采用抛丸除锈，除锈等级为 Sa2.5。
- c) 钢棚洞防火等级为二级。

条文说明：

本条对钢棚洞钢结构部分提出了防雷电、除锈、防火方面的总体要求，详细规定应参照《钢结构设计规范》（GB 50017）的相关规定执行。

11.5 柔性棚洞结构设计

11.5.1 柔性棚洞的主要功能包括防落石、防雪、遮光等，因不同的性能要求，其构造、材料均有所区别。

11.5.2 柔性棚洞通常采用拱形，其结构由主拱架、纵向连接、覆盖结构三部分。

- a) 主拱架为其主要受力构件，一般采用钢结构，可根据受力要求采用 H 型钢、工字钢、钢管等。
- b) 主拱架应设置纵向连接，可采用纵向水平撑、斜撑、剪刀撑，且应满足结构的整体稳定要求，防止柔性棚洞出现连续倒塌。
- c) 主拱架拱脚下部基础应设置混凝土基础并置于稳定的地基上，若地基承载力不足应采用扩大基础、条形基础或桩基础。
- d) 覆盖结构应根据柔性棚洞的防护对象选择不同的材料。防落石一般采用主动网为主，主、被动网相结合的方式，防雪遮光一般采用膜材或有机玻璃板材等。
- e) 柔性棚洞所有钢结构构件宜工厂统一加工，现场安装成型。
- f) 主拱架拱脚部位应设置必要防撞设施。

11.5.3 防落石柔性棚洞应满足以下规定：

- a) 主拱架应有足够的刚度，可以抵抗所防御能级落石的直接冲击。
- b) 纵向连接、覆盖结构与主拱架之间的连接不宜过强，应保证超过防护能力的落石冲击时，仅其连接部发生破坏，避免因连接过强而造成主拱架连续破坏、倒塌等。
- c) 纵向连接、覆盖结构设计时应充分考虑其易于更换的需求。

11.5.4 防雪、遮光柔性棚洞应满足以下规定：

- a) 覆盖结构材料选择时应根据需要充分考虑其透光性。
- b) 覆盖结构仅在主拱架拱部布设，两侧边墙部位不应设置，宜保证其通透性，避免棚洞可能受到过大的风荷载。

12 防水与排水

12.1 一般规定

12.1.1 明（棚）洞防排水设计应遵循“防、排、截相结合，因地制宜，综合治理”的原则，防排水系统应完整畅通。

12.1.2 除柔性棚洞外，其余各类型明（棚）洞均应设置完善的防排水设施。

条文说明：

柔性棚洞覆盖结构通常采用主动防护网或膜结构，不设置回填层，不存在防排水问题。

12.1.3 明（棚）洞防排水应满足下列要求：

- a) 顶部、内边墙不渗水，路面无湿渍。
- b) 有冻害地段的明（棚）洞内边墙后背不积水、排水沟不冻结。

12.2 防水

12.2.1 明（棚）洞靠山侧和顶部结构外缘应敷设外贴式防水层，变形缝应进行防水设计。

12.2.2 明（棚）洞混凝土结构应满足抗渗要求，混凝土的抗渗等级不宜小于 P8。

12.2.3 存在侵蚀性地下水时，应针对侵蚀类型采用抗腐蚀性、抗侵蚀性防排水材料，可适当提高混凝土防水等级。

12.2.4 回填土顶面宜铺设黏土隔水层，并与山坡夯实连接。

12.3 排水

12.3.1 明（棚）洞内路面两侧应设置路侧边沟。

12.3.2 路侧边沟排水坡度宜与明（棚）洞纵坡一致。

12.3.3 当明（棚）洞内出现凹曲线时，应在凹曲线最低点设置横向排水设置。

12.3.4 明（棚）洞靠山侧结构背面应设置纵向排水管。

12.4 截水

12.4.1 明（棚）洞边仰坡回填或开挖线 3~5m 以外，有条件时应根据实际情况和需要设置截水沟。

12.4.2 明（棚）洞出洞方向为上坡时，可在洞口外路基靠山侧设置反向排水边沟或采取引排措施，洞外水不应流入明（棚）洞。

13 基础设计

13.1 一般规定

13.1.1 明（棚）洞基础应置于稳固的地基上，基础底标高不宜高于路面基层标高。

13.1.2 明（棚）洞基础应保证一定的嵌岩深度和襟边宽度。

13.1.3 明（棚）洞基底高程低于边沟沟底开挖高程应不小于 200mm；在有冻害地区，基底埋置深度不应小于冰冻线以下 250mm。

13.1.4 基础外侧受水流冲刷影响时，应采取加固和防护措施。

13.1.5 明洞外边墙、棚洞立柱基础埋置深度超过路面以下 3m 时，宜在路面以下设置横向水平拉杆，并锚固于内边墙基础或岩体中，或用锚杆锚固于稳定的岩体中；棚洞外侧立柱可加设纵梁与相邻立柱连接。

条文说明：

《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》第11.5.7条中提出路面以下设置钢筋混凝土横向水平拉杆，本《指南》中将其改为横向水平拉杆，主要考虑在软硬不均的路基上时可以采用柔性水平拉杆。

13.2 地基处理

13.2.1 斜坡地基处理应符合下列规定：

- a) 当地基为斜坡地形时，地基可切割成台阶。
- b) 地基切割成的台阶平均坡度不宜过陡，坡度线与水平线的夹角不得大于岩层的内摩擦角。
- c) 基底位于坡度大于 5%的纵向斜坡上时，基底应设计为台阶式。
- d) 基础置于稳定斜坡地面上时，基础埋置条件宜满足表 x 的规定。

表12 斜坡地面基础埋置条件

土层类别	墙趾最小埋入深度 h (m)	距地表水平距离 L (m)
硬质岩石	0.60	1.50
软质岩土	1.00	2.00
土层	≥1.00	2.50

条文说明：

地基切割成的台阶宽度一般不小于0.5m，最底一层基础宽度不宜小于2m，台阶平均坡度不宜陡于 1:0.5。

13.2.2 明（棚）洞地基承载力不足时，应对地基进行加固处理。

条文说明：

一般情况下,当基岩埋深较浅时,基础应置于基岩上;当覆盖层较厚且承载力不满足要求时,可采用桩基础、扩大基础、加深基础、换填、注浆加固、旋喷桩加固等方式处理;当存在软弱下卧层时,宜采用桩基础或桩基托梁基础,且桩基础应穿过软弱下卧层并置于坚固的地基上。

13.2.3 在既有道路上增设明(棚)洞,当既有道路路基宽度不足时,可根据现场情况对既有道路进行路基加宽处理。

条文说明:

当既有道路为填方路基时,可采用填方加宽或设置挡墙加宽。当既有道路为挡墙路基时,应根据既有挡墙情况选择合理的加宽方式。若既有挡墙不满足要求时,宜拆除重建;若既有挡墙满足要求时,可采用锚杆挡墙进行拼宽。

14 回填设计

14.1 一般规定

14.1.1 明(棚)洞洞顶回填、边墙背后回填应根据明(棚)洞设置的目的、作用,以及地形条件、山坡病害确定。

14.1.2 明(棚)洞洞顶回填的面坡坡度,可根据防御落石、坍塌的功能需要和支撑边坡的稳定性,结合填料、地形和排水等要求确定。

14.1.3 明(棚)洞边墙背后回填应根据明(棚)洞类型、地质条件、设计要求和施工方法按下列要求确定。

14.2 常规回填设计

14.2.1 常规回填是指采用土石、干砌片石、浆砌片石、片石混凝土、素混凝土等材料回填。

14.2.2 明(棚)洞洞顶回填应满足以下要求:

- a) 山坡有严重的危石、崩塌威胁时,应予以清除或作加固处理。为防护一般的落石、崩塌等危害,明(棚)洞洞顶回填土厚度不宜小于1.2m,填土表面应设置一定的排水坡度。
- b) 立交明洞上的填土厚度应结构公路、铁路、沟渠及其他人工构造物的标高、自然环境、美化要求和结构设计等研究确定。
- c) 当明(棚)洞顶设置过水、泥石流等渡槽、沟渠及其他构造物时,设计应考虑其影响。一般过水沟渠或普通截水沟沟底距洞顶外缘厚度不小于1.0m。当为排泄山沟洪水、泥石流等的渡槽时,泥石流等渡槽沟渠底距洞顶外缘不小于1.5m。
- d) 设计中宜根据内侧边坡情况,预留清除洞顶堆积体的条件,当堆载超过设计回填坡度时,应及时清除。

条文说明:

明(棚)洞洞顶回填排水坡度一般不宜小于2%;一般落石、崩塌情况下,洞顶设计回填坡度1:5~1:3,实际回填坡度1:10~1:5;山坡可能发生较大落石、崩塌、泥石流时,宜先清除危石或对边坡进行加固处理,并适当增加土石回填厚度,洞顶设计回填坡度1:3~1:1.5,实际回填面度1:5~1:3。

14.2.3 明(棚)洞边墙背后回填应满足以下要求:

- a) 明(棚)洞结构设计考虑地层弹性抗力时,边墙背后应用混凝土、浆砌片石或干砌片石回填。

- b) 明(棚)洞边墙按回填土计算土压力时,边墙背后回填料的内摩擦角不应低于原地层计算摩擦角或设计回填料的计算摩擦角。
- c) 回填材料与内侧边坡接触处,宜开挖成台阶,并用粗糙透水性材料填塞。

条文说明:

明(棚)洞边墙后背回填一般不采用土石回填;当边墙背后为石质边坡且开挖量较小时,宜采用内边墙同级或低标号混凝土回填;边墙背后空洞较大时,宜采用浆砌片石回填;当边墙背后为土质边坡时,一般采用浆砌片石回填。

14.3 特殊缓冲材料回填设计

14.3.1 特殊缓冲材料回填是指采用碳渣、废旧轮胎、聚苯乙烯泡沫(EPS)、聚乙烯泡沫(EPE)等缓冲材料回填。

条文说明:

以上特殊缓冲材料通常具有轻质、高弹等特性,可提高明(棚)洞结构的抗冲击能力。

14.3.2 特殊缓冲材料一般仅用于明(棚)洞洞顶回填材料,不应用于边墙后背回填材料。

条文说明:

特殊缓冲材料不宜单独使用,应与常规回填材料配合使用;特殊缓冲材料宜设置于常规回填材料下部,与明(棚)洞结构密贴;大型高位落石、崩塌地段宜设置特殊缓冲材料,根据特殊缓冲材料不同的缓冲性能,通常设置0.5~2.0m。

15 机电及其他设施

15.1 机电设施

15.1.1 未设置外侧开孔的明(棚)洞应严格按照隧道机电设施设置的要求配置完善的机电设施。

条文说明:

未设置外侧开孔的明(棚)洞属于封闭空间,其工作状态与隧道相似,因此其机电设施的设置应满足隧道机电设置的设置要求。

15.1.2 设置外侧开孔的明(棚)洞,应根据公路等级、开孔大小、外侧逃生条件等情况设置机电设施,一般宜满足以下要求:

- a) 明(棚)洞外侧开孔面积超过侧墙面积的20%时,一般不设置通风设施。
- b) 高速公路、一级公路明(棚)洞,二级及以下公路超过200m的明(棚)洞,宜按照公路隧道的要求设置照明设施;二级及以下公路,明(棚)洞外侧开孔面积超过侧墙面积的20%,且长度不超过200m时,一般不设置照明设施。
- c) 明(棚)洞外侧坡面较缓,且逃生条件较好时,可不设置消防设施。

条文说明:

设置外侧开孔的明(棚)洞属于半封闭空间,其通风、照明、逃生条件有别于常规的隧道工程,对机电设施的要求可适当降低。

15.2 其他设施

15.2.1 明（棚）洞内壁装饰应结合使用要求进行设置，力求安全、经济、美观、适用，并符合下列规定：

- a) 内壁装饰不得侵入建筑限界。
- b) 高速公路、一级公路对结构美观、行车诱导有要求时，可按照公路隧道的要求进行设置。
- c) 二级及以下公路一般不设置内壁装饰。

15.2.2 明（棚）洞内各类设施的悬挂及安装配件应根据其承重和耐久性要求，进行强度和防腐设计。

16 质量检验与工程验收

16.1 明（棚）洞质量检验参见《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）中相关规定执行。

条文说明：

拱形明洞、矩形明洞质量检验参见《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）中对明洞的相关规定执行。

钢筋混凝土棚洞中顶梁（板）、内边墙、外侧支承结构、回填及防水层质量检验分别参见《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）中对混凝土梁桥、挡土墙、混凝土墩台、明洞的相关规定执行。

钢棚洞中钢结构部分、内边墙、回填及防水层质量检验分别参见《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）中对钢桥、挡土墙、明洞的相关规定执行。

柔性棚洞中钢结构部分、柔性防护网质量检验分别参见《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）中对钢桥、防护工程的相关规定执行。

16.2 明（棚）洞工程验收应按《公路工程竣（交）工验收办法实施细则》进行竣（交）工验收。

用词说明

对执行标准条文严格程度的用词，采用以下写法：

- 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，采用“可”。

附 录 A
(规范性附录)
落石冲击动能计算方法 (供参考)

计算冲击动能应充分考虑崩塌落石灾害可能的失稳规模和单次失稳块体的数量。单个落石产生的冲击动能宜采用试验、计算分析等方法确定。本《指南》编写过程中,经多方调研,对于落石冲击动能计算方法推荐采用日本道路协会《落石对策便览》(平成12年6月)著作中提出的计算公式,具体为式(A. 1)计算。

$$E_k = (1 + \beta_R)(1 - \frac{\mu_s}{\tan \theta_s})m_R g H_R \dots\dots\dots (A. 1)$$

式中: $(1 + \beta_R)(1 - \frac{\mu_s}{\tan \theta_s}) \leq 1.0$;

E_k ——落石的冲击动能;

β_R ——旋转能量系数,可定为 0.1;

θ_s ——斜坡坡度角;

m_R ——落石的质量;

g ——重力加速度;

H_R ——落石下落的高度;

μ_s ——等效摩擦系数,可通过试验获得,也可参照表 A. 1 选用。

表A. 1 不同边坡类型的 μ_s 取值

区分	落石及斜坡的特性	设计使用 μ_s	从实验中得到的 μ_s 的范围
A	硬岩、圆状; 凹凸小,没有树木	0.05	0~0.1
B	软岩、圆状~角状; 凹凸中~大、没有树木	0.15	0.11~0.2
C	砂土岩锥、圆状~角状; 凹凸小~中、没有树木	0.25	0.21~0.3
D	岩锥、巨大石砾夹杂岩锥、角状; 凹凸中~大、树木无~有	0.35	0.31~

附录 B (规范性附录)

明(棚)洞落石冲击荷载计算方法(供参考)

落石冲击荷载是明(棚)洞等落石被动防护结构设计的主要荷载之一。落石冲击荷载的大小与落石的质量、形状、岩性,下落高度,下落坡面情况,明(棚)洞回填层情况等因素相关,因此其具有较多的不确定性,对其准确计算也有较大难度。本指南结合现有规范提出解析计算法、数值仿真法、静力等效法三种方法供设计人员参考。

当三种方法计算结果差异较大时,建议最大冲击荷载作为设计荷载。

B.1 解析计算法

我国公路行业的《公路隧道设计细则》(JTG/T D70)、铁路行业的《铁路工程设计技术手册——隧道》中提出冲击荷载计算方法相同,是一种基于冲量定理的近似计算方法,该方法计算结果为冲击继续时间内的冲击荷载平均值。

B.1.1 《公路隧道设计细则》(JTG/T D70)落石冲击荷载计算公式如式B.1~B.3所示。该算法由于概念明确,计算简单,一直以来是我国工程界常用的落石冲击荷载计算方法。

$$P = \frac{Qv_0}{gt} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$t = \frac{2h}{c} \dots\dots\dots (B.2)$$

$$c = \sqrt{\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \times \frac{E}{\rho} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

P——落石冲击力(kN)

Q——落石重量(kN)

G——重力加速度(m/s²)

v₀——落石冲击速度(m/s)

t——冲击持续时间(s)

h——缓冲土层计算厚度(m)

c——压缩波在缓冲土层中的往复速度(m/s)

μ——回填土泊松比

E——回填土弹性模量(kPa)

ρ——回填土密度(kg/m³)

B.1.2 采用式B.2、式B.3计算的落石冲击持续时间结果偏长,其数值通常在0.5s左右,从而导致落石冲击荷载计算结果偏小。

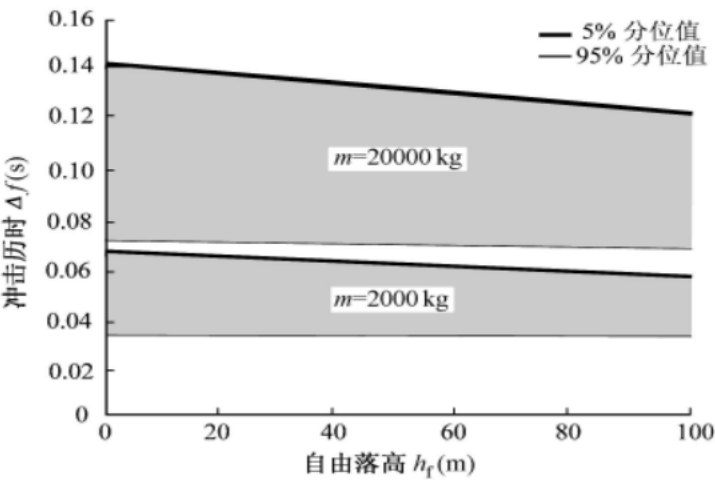
B.1.3 综合落石冲击试验、查阅已有文献、数值仿真模拟等方式，推荐落石冲击时间 t 的取值范围为0.04s~0.09s。落石冲击持续时间随着落石质量增加而增加，随着冲击高度（速度）的增加而减小。

1) 落石冲击试验中所测得的持续时间情况说明如下：

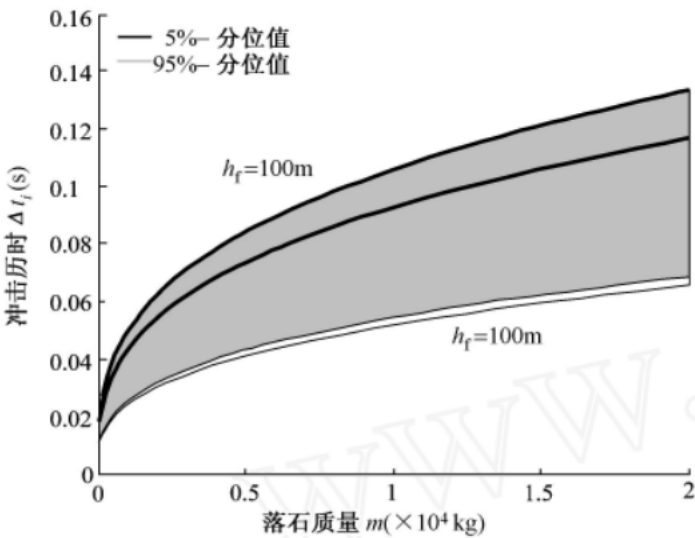
根据四川省交通科技项目《山区公路防灾减灾钢棚洞结构设计建造》（100110003）、《公路棚洞提高抗落石冲击能力关键技术应用性研究》（2012B4-2）所做的落石冲击试验表明，落石冲击历时会随着落石质量增加而增加，并随着冲击速度的增加而减小，冲击历时大概为0.06s~0.09s左右。

2) 查阅已有文献所获得的持续时间情况说明如下：

根据查阅有关文献所获得的落石现场试验资料表明，在自由落高100m以内，落石质量20 t以内，落石冲击继续时间均在0.14s以内，且大多不会超过0.10s，是一种极短时间的碰撞行为，如图B.1、图B.2所示。



图B.1 落石冲击继续时间随自由落高的变化



图B.2 落石冲击持续时间随落石质量的变化

3) 落石冲击数值仿真模拟计算所得到的冲击持续时间详见表 B.1、表 B.2 所示。

B.2 数值仿真法

有条件时，可结合明（棚）洞地质勘察所提出的防护要求，对明（棚）洞进行整体建模，采用有限元方式对落石冲击全过程进行数值仿真分析，得到相应的结构内力计算成果以指导设计。

B.3 静力等效法

B.3.1 为简化冲击荷载计算难度、方便设计人员使用，本指南编制时提出以结构响应等效的方法，通过数值仿真计算，将落石冲击荷载这一动力问题等效为施加在结构上的一个静力荷载，以供参考。

B.3.2 矩形明洞等效荷载详见表B.1所示。

表B.1 矩形明洞落石冲击荷载的等效集中力

冲击能量 kJ	冲击速度 m/s	弹性地基 (弹性模量取值 50Mpa)			刚性地基		
		顶板最大弯矩 kN·m	等效集中力 kN	冲击持续时间 s	顶板最大弯矩 kN·m	等效集中力 kN	冲击持续时间 s
100	14.14	708	610	0.046	639	700	0.048
200	20.00	745	725	0.058	723	942	0.052
300	24.49	799	877	0.051	777	1 120	0.052
400	28.28	846	1 000	0.053	827	1 280	0.049
500	31.62	898	1 200	0.055	863	1 400	0.057
600	34.64	945	1 330	0.065	907	1 540	0.064
700	37.42	983	1 440	0.061	938	1 640	0.061
800	40.00	1 016	1 540	0.058	963	1 720	0.058
900	42.42	1 042	1 620	0.060	998	1 830	0.058
1 000	44.72	1 074	1 720	0.057	1 039	1 960	0.056
1 100	46.9	1 111	1 830	0.057	1 071	2 070	0.057
1 200	48.99	1 144	1 930	0.057	1 103	2 170	0.058
1 300	50.99	1 182	2 040	0.055	1 135	2 270	0.056
1 400	52.91	1 222	2 160	0.057	1 170	2 390	0.058
1 500	54.77	1 259	2 300	0.056	1 199	2 480	0.056
注：计算条件： ①明洞建筑限界 9×5m；②顶板 80cm、左右侧墙及底板 70cm；③外侧墙开孔宽度 2.5m；④顶部土石回填坡度 1:10，顶板跨中覆土 2m；⑤落石为球形石块，质量 1t（相当于密度 $2.7 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 直径 0.89m 的球形石块）。							

B.3.3 混凝土棚洞等效荷载详见表B.2所示。

表B.2 钢筋混凝土棚洞落石冲击荷载的等效集中力

冲击 能量 kJ	冲击 速度 m/s	支座位置		跨中位置		
		1片T梁最大 支座反力 kN	冲击持续时间 s	1片T梁最大 弯矩 kN.m	等效集中力 kN	冲击持续时间 s
100	14.14	650	0.051	916	760	0.048
200	20.00	835	0.059	990	970	0.050
300	24.49	961	0.059	1 052	1 160	0.049
400	28.28	1 079	0.056	1 100	1 300	0.074
500	31.62	1 183	0.056	1 146	1 450	0.070
600	34.64	1 235	0.054	1 184	1 570	0.066
700	37.42	1 295	0.056	1 218	1 670	0.065
800	40.00	1 354	0.053	1 256	1 780	0.065
900	42.42	1 414	0.052	1 301	1 920	0.064
1 000	44.72	1 467	0.054	1 346	2 060	0.062
1 100	46.9	1 534	0.051	1 386	2 180	0.063
1 200	48.99	1 551	0.053	1 435	2 330	0.063
1 300	50.99	1 620	0.051	1 476	2 460	0.062
1 400	52.91	1 689	0.050	1 511	2 570	0.061
1 500	54.77	1 770	0.049	1 551	2 700	0.059
注：计算条件： ①明洞建筑限界9×5m；②顶梁由5片1m高T梁组成；③顶部土石回填坡度1:10，顶板跨中覆土2m；④落石为球形石块，质量1t（相当于密度 $2.7 \times 103 \text{kg/m}^3$ 直径0.89m的球形石块）。						