

DB

云南省工程建设地方标准

DBJ53/T—XX—2022

云南省公路工程棚洞设计标准

Standard for Design of Highway Shed-tunnel in Yunnan
province

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

云南省住房和城乡建设厅 发布

XXXX-XX-XX 实施

云南省工程建设地方标准

云南省公路工程棚洞设计标准

Standard for Design of Highway Shed-tunnel in Yunnan
province

DBJ53/T—XX-2022

主编单位：云南省交通规划设计研究院有限公司

批准部门：云南省住房和城乡建设厅

试行日期：XXXX 年 XX 月 XX 日

XXXX 出版社
XXXX（年） 云南

云南省住房和城乡建设厅
公 告

第 XXX 号

前 言

根据云南省住房和城乡建设厅文件《关于印发云南省 2020 年工程建设地方标准编制计划（第一批）的通知》由云南省交通规划设计研究院有限公司作为主编单位承担《云南省公路工程棚洞设计标准》的编写。

本标准共分 17 章，主要内容包括：总则、术语和符号、棚洞勘测、总体设计、荷载、建筑材料、洞口与洞门、结构设计、结构计算、棚洞抗震设计、不良地质地段棚洞设计、辅助施工措施与动态设计、防水与排水、棚洞地基及洞内路基与路面、棚洞内机电设施、安全设施、棚洞内防护与装饰等，另有 3 个附录。

本标准由云南省住房和城乡建设厅负责管理，由云南省交通规划设计研究院有限公司进行具体内容的解释。在执行本标准过程中如有意见和建议，请及时寄交云南省交通规划设计研究院有限公司

《云南省公路工程棚洞设计标准》编写组（地址：云南省昆明市拓东路 85 号，邮编：650011，电子邮箱：42429356@qq.com），以便修订时研用。

本标准主编单位：云南省交通规划设计研究院有限公司

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

目 次

1 总 则..... 1

2 术语和符号..... 2

 2.1 术语 2

 2.2 符号 3

3 棚洞勘测..... 6

 3.1 一般规定 6

 3.2 调查测绘及勘探 6

 3.3 位置选择 7

4 总体设计..... 8

 4.1 一般规定 8

 4.2 平面及纵断面设计 8

 4.3 横断面设计 9

5 荷载..... 11

 5.1 一般规定 11

 5.2 荷载组合 11

 5.3 荷载计算 13

 5.4 安全风险评估 17

6 建筑材料..... 18

 6.1 一般规定 18

 6.2 材料性能 19

7 洞口及洞门..... 22

 7.1 一般规定 22

 7.2 洞口工程 22

 7.3 洞门工程 23

8 结构设计..... 24

 8.1 一般规定 24

 8.2 框架式棚洞 24

 8.3 悬臂式棚洞 25

 8.4 拱形棚洞 25

 8.5 多跨棚洞 25

 8.6 棚洞顶板回填与缓冲层 25

 8.7 构造要求 25

9 结构计算..... 28

 9.1 一般规定 28

 9.2 荷载-结构算法 28

 9.3 地层-结构算法 30

10 棚洞抗震设计..... 33

 10.1 一般规定 33

 10.2 地震作用 33

10.3 截面抗震验算	36
10.4 抗震变形验算	37
10.5 抗震措施	37
10.6 引入新技术	39
11 不良地质地段棚洞设计	40
11.1 滑坡地层	40
11.2 岩溶地层	41
11.3 采空区	41
11.4 膨胀性围岩	41
11.5 泥石流区	42
12 辅助工程措施与动态设计	44
12.1 辅助工程措施	44
12.2 动态设计	44
13 防水与排水	47
13.1 一般规定	47
13.2 防水	47
13.3 排水	49
14 地基、路基与路面	50
14.1 一般规定	50
14.2 地基与基础	50
14.3 路基	50
14.4 路面	50
15 棚洞内机电设施	51
15.1 照明	51
15.2 通风	51
15.3 消防	51
16 棚洞内安全设施	52
16.1 一般规定	52
16.2 标志	52
16.3 标线与轮廓标	52
17 棚洞内防护与装饰	54
附录 A 岩体与土体物理力学参数	56
附录 B 棚洞标准内轮廓	59
B.1 型式	59
B.2 标准内轮廓	59
附录 C 本标准用词说明	66
引用标准名录	67
条文说明	68

Contents

1	General provision	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Shed-tunnel Reconnaissance	6
3.1	General Requirments	6
3.2	Survey, Mapping and Exploration	6
3.3	Position Selecting	7
4	Overall Design	8
4.1	General Requirments	8
4.2	Plane and Longitudinal Section Design	8
4.3	Cross Section Desig.....	9
5	Load	11
5.1	General Requirments	11
5.2	Load combination	11
5.3	Load Calculation	13
5.4	Security Risk Evaluation	17
6	Building Material	18
6.1	General Requirments	18
6.2	Material Property	19
7	Entrance and Portal	22
7.1	General Requirments	22
7.2	Entrance Engineering	22
7.3	Portal Engineering	23
8	Structural Design	24
8.1	General Requirments	24
8.2	Frame Shed-tunnel	24
8.3	Cantilever Shed-tunnel	25
8.4	Arch Shed-tunnel	25
8.5	Multi-span Shed-tunnel	25
8.6	Backfilling and Buffer Layer	25
8.7	Detailing Requirements	25
9	Structural Calculation	28
9.1	General Requirments	28
9.2	Load- Structural Calculation Method	28
9.3	Stratum- Structural Calculation Method	30
10	Seismic design	33
10.1	General Requirments	33
10.2	Effect of seismic action	33
10.3	Section Seismic Checking	36
10.4	Deformation Seismic Checking	37
10.5	Seismic Measures	37
10.6	Introduction of Latest Technologies	39

11 Design for Unfavorable Geology Section.....	40
11.1 Landslide Stratum	40
11.2 Karstic Formation	41
11.3 Goaf	41
11.4 Swelling Rock.....	41
11.5 Debris Flow	42
12 Engineering Assistant Measure and Dynamic Design.....	44
12.1 Engineering Assistant Measure	44
12.2 Dynamic Design	44
13 Waterproofing and Drainage	47
13.1 General Requirments	47
13.2 Waterproofing	47
13.3 Drainage.....	49
14 Foundation, Subgrade and Pavement.....	50
14.1 General Requirments	50
14.2 Foundation.....	50
14.3 Subgrade.....	50
14.4 Pavement	50
15 Electromechanical Facilities.....	51
15.1 Lighting.....	51
15.2 Ventilation	51
15.3 Fire.....	51
16 Safety Facilities	52
16.1 General Requirments	52
16.2 Signs	52
16.3 Marking and Profile	52
17 Protection and Decoration	54
Appendix A Physical and Mechanical Parameters of Rock Mass and Soil	56
Appendix B Standard Inner Contour.....	59
B.1 Style	59
B.2 Standard Inner Contour	59
Appendix C Explanation of Wording in this Code.....	66
List of Quoted Standard	67
Explanation of Provisions	68

1 总 则

- 1.0.1 为统一云南地区公路工程棚洞设计技术标准，规范和指导棚洞设计，制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于各等级公路新建和改扩建的防护型棚洞设计。
- 1.0.3 棚洞按其结构形式可分为框架式棚洞、悬臂式棚洞、拱形棚洞和多跨棚洞四类。
- 1.0.4 棚洞主体结构应按满足 100 年正常使用，应能适应运营的需要，方便养护作业，并具有必要的安全防护等设施。
- 1.0.5 按持久状况承载能力极限状态设计时，公路棚洞结构的设计安全等级应根据结构破坏可能产生的后果的严重程度划分为三个等级，且不低于表 1.0.5 的规定。

表 1.0.5 棚洞结构安全等级

棚 洞 结 构	设计安全等级
邻水棚洞、(单跨) 跨度大于 15 米的棚洞	一级
高速公路、一级公路上的棚洞，通过滑坡、泥石流、活动断裂带的棚洞	二级
二、三、四级公路上的棚洞	三级

- 1.0.6 棚洞设计应依据勘测、调查资料，并针对地形、地质和生态环境的特征，以及棚洞的功能作用、运营和施工条件，通过技术、经济分析，使棚洞的结构型式和结构强度符合安全适用、质量可靠、经济合理和环境保护的要求。
- 1.0.7 应根据工程地质及水文地质条件，结合结构类型、断面大小、长度、工期等因素拟定合适的施工方法。
- 1.0.8 棚洞土建设计应体现动态设计与施工的思想，制定地质观察和监控量测的总体方案。
- 1.0.9 棚洞设计应重视棚洞工程对生态环境和水资源的影响。应节约用地、节约能源及保护农田水利设施，保护原有植被，弃渣和排水应采取措施妥善处理。
- 1.0.10 棚洞顶板上应设置防落石冲击的缓冲措施。
- 1.0.11 棚洞抗震设计应按多遇地震、设防地震、罕遇地震三个地震动水准进行抗震设计。棚洞宜选择抗震有利地带通过，规避抗震不利地带。
- 1.0.12 棚洞应进行专门的防排水设计，遵照“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理”的原则，对地表水和地下水进行妥善处理。防排水方案应便于施工和维修维护，利于防排水系统长期有效。
- 1.0.13 棚洞设计应遵循能充分发挥棚洞功能、安全且经济地建设棚洞的基本原则；应贯彻国家有关技术经济政策，积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。
- 1.0.14 棚洞设计除应符合本标准外，尚应遵守现行有关国家法律、法规，符合国家、行业现行标准、规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 公路棚洞 highway shed-tunnel

公路棚洞是为保障公路正常运营而专门设置的一种特殊人工构造物结构；供汽车和行人通行的公路棚洞，是一种有效的防护结构和环保结构，按其功能/适用条件分主要有四类：（1）在浅埋、偏压、易失稳产生崩塌和落石的边仰坡地形地质条件修建的支挡型棚式构筑物；（2）为防止雪崩、泥石流、滑坡等阻挡、损毁公路，影响公路正常运营而修建的防护型棚盖构筑物；（3）对于公路通过环保要求较高的地域时，修建的以减少开挖、不破坏或少破坏环境、甚或体现环保美观为目的的一种公路构筑物；（4）有特殊用途的上跨公路的半通透隧道，如公路上设停车场、体育场等。

2.1.2 框架式棚洞 frame shed-tunnel

以墙、柱、梁、板等构件组成的四边形棚洞结构。有简支梁（板）棚洞及矩形刚架式棚洞两种。

2.1.3 悬臂式棚洞 cantilever shed-tunnel

顶板为悬臂结构的棚洞。

2.1.4 拱形棚洞 arch shed-tunnel

顶部和单边侧墙为弧形结构的棚洞。

2.1.5 多跨棚洞 multi-span shed-tunnel

两跨及以上的棚洞。

2.1.6 荷载 load（作用 action）

施加在结构上的外力和引起结构附加变形和约束变形的原因。

2.1.7 永久荷载 permanent load

在结构使用期间，其值不随时间变化，或其变化与平均值相比可以忽略不计，或其变化是单调的并能趋于限值的荷载。

2.1.8 可变荷载 variable load

在结构使用期间，其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载。

2.1.9 偶然荷载 accidental load

在结构设计使用年限内不一定出现，而一旦出现其量值很大，且持续时间很短的荷载。

2.1.10 地震作用 earthquake action

由地震引起的结构动态作用，包括水平地震作用和竖向地震作用。

2.1.11 设计基准期 design reference period

在进行结构可靠性分析时，考虑持久设计状况下各项基本变量与时间关系所采用的基准时间参数。

2.1.12 承载能力极限状态 ultimate limit states

对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形的状态。

2.1.13 正常使用极限状态 serviceability limit states

对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的状态。

2.1.14 荷载效应 load effect

由荷载引起结构或结构构件的反应，例如内力、变形和裂缝等。

2.1.15 荷载组合 load combination

按极限状态设计时，为保证结构的可靠性而对同时出现的各种荷载设计值的规定。

2.1.16 抗力 resistance

结构或结构构件承受作用效应的能力。

2.1.17 分项系数 partial coefficient

为了保证结构或结构构件具有规定的可靠度，在结构极限状态设计表达式中采用的系数，分为作用分项系数、抗力分项系数和材料性能分项系数等。

2.1.18 动态设计 feedback design

在棚洞施工过程中，根据地质条件变化情况和监控量测信息分析及时调整施工方法和支护结构参数的一种设计理念。

2.1.19 监控量测 monitoring measurement

为保障棚洞施工安全和优化支护结构设计，在棚洞内和地表，对地层和结构的变形、内力、荷载等进行观察、量测、分析和评价的活动。

2.1.20 棚洞防水 shed-tunnel waterproof

防止地下水向洞内渗流的措施，一般可分为结构防水系统与路面防水系统。

2.1.21 棚洞排水 shed-tunnel drainage

将棚洞内和结构背后积水排出洞外的措施，一般可分为结构排水系统与路面排水系统。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

E_c ——混凝土的弹性模量；

E_s ——钢筋的弹性模量；

C30——立方体抗压强度标准值为 30N/mm^2 的混凝土强度等级；

HRB400——强度等级为 400MPa 的普通热轧带肋钢筋；

HPB300——强度等级为 300MPa 的热轧光圆钢筋；

f_{ck} 、 f_c ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

f_{tk} 、 f_t ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；

f_y 、 f'_y ——普通钢筋抗拉、抗压强度设计值。

2.2.2 荷载（作用）与计算系数

q ——垂直压力；

e ——水平压力；

G ——结构自重

P ——落石冲击力；
 E ——地震作用；
 λ ——侧压力系数；
 γ ——岩、土体重度；
 Φ_c ——岩、土体计算摩擦角；
 Φ_0 ——岩、土体内摩擦角；
 c ——粘聚力；
 K ——围岩弹性反力系数；
 m ——开挖边坡坡率或地面坡率；
 n ——回填土石面坡率；
 μ ——回填土石与开挖边坡间的摩擦系数；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 γ_G ——永久荷载分项系数；
 γ_Q ——可变荷载分项系数。

2.2.3 荷载（作用）效应

M 、 M_k 、 M_d ——弯矩、弯矩标准值、弯矩设计值；
 N 、 N_k 、 N_d ——轴力、轴力标准值、轴力设计值；
 V_d ——剪力设计值；
 ω_{\max} ——按荷载准永久值组合或标准组合，并根据长期作用影响的计算最大裂缝宽度。

2.2.4 几何参数

H ——建筑限界高度；
 W ——行车道宽度；
 L_L ——左侧侧向宽度；
 L_R ——右侧侧向宽度；
 C ——余宽；
 J ——检修道宽度；
 R ——人行道宽度；
 E_L ——建筑限界左顶角宽度；
 E_R ——建筑限界右顶角宽度；
 b ——矩形截面宽度，T形、I形截面腹板宽度；
 c ——混凝土保护层厚度；
 d ——钢筋的公称直径（简称直径）或圆形截面的直径；

h ——截面高度；

h_0 ——截面有效高度；

l_0 ——计算跨度或计算长度；

A ——构件截面面积。

3 棚洞勘测

3.1 一般规定

3.1.1 应根据不同设计阶段的任务、目的和要求,针对公路等级、棚洞的特点和规模,确定收集、调查资料的内容和范围,并进行调查、测绘、勘探和试验,满足设计要求。

3.1.2 在勘测前应根据棚洞所通过位置区的地形、工程地质及水文地质等条件,和勘测阶段的深度要求,编制勘测计划。

3.1.3 应详细调查棚洞所在地区的自然、人文活动和社会环境状况,评价棚洞工程对环境可能造成的影响。

3.2 调查测绘及勘探

3.2.1 棚洞工程测绘应遵守下列规定:

- 1 棚洞设计应按技术设计阶段要求开展测绘调查,应按工点设计要求测绘;
- 2 按设计阶段要求收集或测绘地形图、纵断面图、横断面图等;
- 3 测绘资料的图纸内容需反映棚洞所在地的工程地质、水文地质、周围建筑物及人居状况;
- 4 在棚洞口附近,按规定设置必要的平面控制点和水准点。
- 5 测绘资料的精度应满足《公路勘测规范》(JTG C10)的要求。

3.2.2 棚洞工程调查及勘探应包含下列内容:

- 1 地形、地貌特征;
- 2 工程地质特征:地层岩性及地质构造特征,土层与岩层的基本物理力学性质等;
- 3 水文地质特征:地下水类型及地下水位、含水层分布范围及相应渗透系数、水量和补给关系、水质及对混凝土、钢筋的侵蚀性等;
- 4 不良地质和特殊岩土地段(如崩塌、错落、岩堆、滑坡、岩溶、泥石流、雪崩、冰川等);
- 5 地震动参数;
- 6 气象资料:气温、气压、风向、风速以及雨量、雪量、冻结深度等;
- 7 施工环境:建筑材料、施工用水、用电情况,交通、施工场地及弃碴条件,周围建筑物和人居状况。

3.2.3 各阶段地质调查及勘探的方法:

- 1 踏勘阶段:收集、分析既有资料及沿路线进行地面踏勘;
- 2 初勘阶段:收集、分析既有资料,现场踏勘、测绘和必要的勘探工作,基本查明拟建地段的工程地质条件及水文地质条件;
- 3 详勘阶段:详细进行地形、地质、环境等调查;按要求进行钻探、物探、原位或取样测试等,详细查明工程地质条件及水文地质条件,提出相应的物理力学参数;
- 4 施工阶段:采用开挖工作面直接观察,或取样测试、物探等进行。

3.2.4 根据调查结果,应对下列各项内容作出工程评价并提出处理措施:

- 1 围岩自稳性;

2 岩土膨胀性；

3 崩塌、错落、岩堆、滑坡、偏压、岩溶、泥石流、冻土、膨胀土；

4 地下水类型及地下水位。

3.3 位置选择

3.3.1 棚洞位置应避免穿越工程地质和水文地质极为复杂以及严重不良地质地段；当必须通过时，应有切实可行的工程措施。

3.3.2 路线沿河傍山地段，当以棚洞通过时，宜结合现场实际地形及水文地质情况，向靠谷侧外移，避免开挖边坡高度过大或过度扰动岩（土）体结构。

4 总体设计

4.1 一般规定

4.1.1 棚洞总体设计应与公路等级相适应，其建筑限界、断面净空等应满足《公路工程技术标准》(JTG B01)及《公路隧道设计标准》(JTG 3370.1)的规定。同时根据土地资源的利用、生态环境的保护、发展的可持续等方面的要求，保证棚洞结构稳定。

4.1.2 棚洞的总体设计应遵循以下原则：

- 1 棚洞内、外线形应协调，符合行车安全、舒适的基本要求；棚洞结构形式应根据所处地形、地质条件、周边环境及棚洞的功能作用等确定，应符合安全、经济、便于施工的要求；
- 2 棚洞设计应遵循“不破坏、少开挖、少扰动，尽可能保持原有地形地貌”的基本原则。
- 3 在不同的设计阶段制定相应的地质勘察方案，棚洞宜避开地形较陡地质较差的路段，当无法避让时，必须有切实可靠的工程措施，确保棚洞实施后地基及边坡的整体稳定；
- 4 应进行比选分析：同一路段，应将棚洞与隧道、高边坡路基或桥梁等其它构造物进行比选；
- 5 棚洞不应设置于自救车道口邻近段落；棚洞应与邻近路段其它构筑物相协调；
- 6 棚洞内轮廓断面应满足行车限界和结构受力和稳定的要求。

4.2 平面及纵断面设计

4.2.1 棚洞平、纵面线形应符合本路段总体线形要求，应与所在路段公路整体线形协调一致，并应符合现行（公路、隧道）相关标准、规范的规定。

4.2.2 棚洞不设超高的圆曲线最小半径应符合表 4.2.2-1 的规定，采用设置超高的平曲线时，其超高值应按表 4.2.2-2 的规定进行停车视距与会车视距验算。超车视距及货车的停车视距、识别视距应满足《公路工程技术标准》的规定。

表 4.2.2-1 不设超高的圆曲线最小半径 (m)

设计速度 (km/h)	120	100	80	60	40	30	20
路拱							
≤2.0%	5500	4000	2500	1500	600	350	150
>2.0%	7500	5250	3350	1900	800	450	200

表 4.2.2-2 公路停车视距与会车视距 (m)

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	210	160	110	75	110	75	40	30	20
会车视距	—	—	—	—	220	150	80	60	40

4.2.3 棚洞平面线形宜采用直线或较大半径的曲线，并保持线形的均衡过渡。受地形地质条件限制需设置 S 形曲线时，曲线的两圆曲线半径之比宜为 $R_1/R_2 \leq 2$ (R_1 为大圆曲线半径， R_2 为小圆曲线半径)。

4.2.4 棚洞内纵坡不应小于 0.3%，并不宜大于 3%，特别困难地段当采取一定安全措施经技术经济论证后，最大纵坡可适当加大但不应大于 5%。短于 100m 的棚洞，纵坡可与洞外路线的纵坡要求相同。

棚洞内设置变坡点时，竖曲线的最小半径和最小长度应满足表 4.2.4。

表 4.2.4 竖曲线最小半径和最小长度 (m)

设计速度 (km/h)		120	100	80	60	40	30	20
凸形竖曲线半径	一般值	17000	10000	4500	2000	700	400	200
	极限值	11000	6500	3000	1400	450	250	100
凹形竖曲线	一般值	6000	4500	3000	1500	700	400	200
	极限值	4000	3000	2000	1000	450	250	100
竖曲线长度		100	85	70	50	35	25	20

4.2.5 棚洞外连接线应与棚洞线形相协调，并符合以下规定：

- 1 洞口内外各 3s 设计速度行程长度范围的平面线形应一致；
- 2 洞口内外各 3s 设计速度行程长度范围的纵面线形应一致，有条件时宜取 5s 设计速度行程。

4.2.6 间隔 100m 以内的棚洞群，宜整体考虑其平、纵线形技术指标。

4.3 横断面设计

4.3.1 棚洞的建筑限界应符合《公路工程技术标准》的相关规定，在建筑限界内不得有任何土建部件侵入。根据适用条件将棚洞限界划分为 I 型、II 型，其中 I 型限界适用于与隧道相接的非独立棚洞；II 型限界适用于独立棚洞。I 型棚洞限界按照公路隧道的建筑限界确定，如图 4.3.1-1 所示；II 型棚洞限界按照公路路基的建筑限界确定，如图 4.3.1-2 所示；各型棚洞限界的具体尺寸按照《公路隧道设计标准》和《公路工程技术标准》取值。

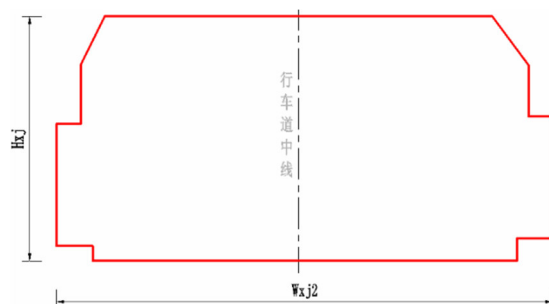


图 4.3.1-1 I 型棚洞建筑限界 (单位: cm)

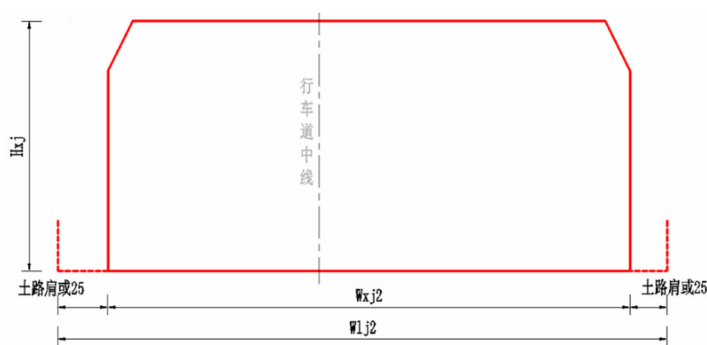


图 4.3.1-2 II 型棚洞建筑限界 (单位: cm)

图中: W_{xj2} ——两车道限界宽度;

W_{lj2} ——两车道限界宽度, 其中 II 型棚洞即为限界宽加两侧土路肩或 25cm 富余宽度;

H_{xj} ——限界高度。

另外, 三车道的限界可参照相关规定加一个车道的宽度。

1 建筑限界高度: 高速公路、一级公路、二级公路取 5.0m, 三、四级公路取 4.5m; 在三、四级公路修建棚洞时, 若具有提高通行能力的改扩建规划, 宜根据路段的发展规划确定棚洞建筑限界的宽度和高

度。

2 当可不设检修道或人行道时，应设不小于 0.25m 的余宽，设计速度大于 100km/h 时余宽应不小于 0.5m。

3 棚洞路面横坡：当棚洞为单向交通时，应取单面坡；当棚洞为双向交通时，可取双向坡。坡度应根据棚洞长度，平、纵线形等因素综合分析确定，一般可取 1.5%~2.0%。

4 当路面采用单面坡时，建筑限界底边线与路面重合；当采用双面坡时，建筑限界底边线应水平置于路面最高处。

5 高速公路和一级公路的棚洞应在两侧设置检修道，检修道宽度应根据公路等级、棚洞长度、洞内设施数量及要求管线数量和布置要求等确定。

4.3.2 棚洞内轮廓设计应在满足建筑限界的原则下，根据棚洞结构形式、施工方法、运营期设备设施布置和养护作业需求等确定。一般在建筑限界的基础上适当放大 5~10cm 为宜。当采用框架结构时，棚洞内轮廓高度应高出限界不小于 50cm。棚洞结构断面型式可分为：框架式棚洞、悬臂式棚洞、拱形棚洞、多跨棚洞等几种。棚洞的内轮廓标准断面详见附录 B。

5 荷载

5.1 一般规定

5.1.1 棚洞结构可按以可靠度理论为基础的极限状态进行设计，应根据各类荷载可能出现的组合状况分别按满足结构承载能力极限状态和满足结构正常使用极限状态要求进行验算，并按最不利组合进行设计。荷载分类应符合表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 棚洞荷载分类

序号	荷载分类		荷载名称
1	永久荷载		结构自重
2			结构附加恒载
3			围岩压力
4			土压力
5			水压力
6			水浮力
7			混凝土收缩和徐变的影响力
			棚洞顶部回填荷载
8	可变荷载	基本可变荷载	公路车辆荷载，人群荷载
9			立交的公路车辆荷载及其产生的冲击力、土压力
10			立交的铁路列车荷载及其产生的冲击力、土压力
			风荷载
11			雪荷载
12		其他可变荷载	立交渡槽流水压力
13			制动力
14			温度变化影响力
15			冻胀力
16			施工荷载
17	偶然荷载		落石冲击力
18			地震力 汽车撞击力

5.1.2 本标准所列之外的特殊荷载，在荷载计算与组合时应作特殊处理。

5.2 荷载组合

5.2.1 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极限状态分别进行荷载组合，并应取各自最不利组合进行设计。

5.2.2 对于承载能力极限状态，应按荷载的基本组合或偶然组合计算荷载组合的效应设计值，并采用下

列表表达式进行设计：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (5.2.2)$$

γ_0 ——结构重要性系数，按棚洞结构的安全等级确定；安全等级为一级是取 1.1，安全等级为二级时取 1.0，安全等级为三级时取 0.9。

S_d ——荷载组合的效应设计值；

R_d ——结构构件抗力的设计值，按有关结构设计的规定确定。

5.2.3 荷载基本组合的效应设计值 S_d ，应从下列组合值中取用最不利的效应设计值确定：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{Gj} S_{Gjk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qik} \quad (5.2.3)$$

式中： γ_{Gj} ——第 j 个永久荷载的分项系数，应按本标准 5.2.4 条采用；

γ_{Qi} ——第 i 个可变荷载的分项系数，应按本标准 5.2.4 条采用；

S_{Gjk} ——第 j 个永久荷载标准值 G_{jk} 计算的荷载效应值；

S_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值；

m ——参与组合的永久荷载数；

n ——参与组合的可变荷载数。

5.2.4 基本组合的荷载分项系数，应按下列规定采用：

- 1) 当永久荷载效应对结构不利时，分项系数应取 1.35；
- 2) 当永久荷载效应对结构有利时，分项系数不应大于 1.0；
- 3) 可变荷载的分项系数应取 1.4；
- 4) 可根据荷载效应对结构的不利或有利的程度，在经论证后，对分项系数再细化为一档或两档。
- 5) 对结构的倾覆、滑移或漂浮验算，荷载分项系数应满足有关结构设计标准的规定。

5.2.5 荷载偶然组合的效应值 S_d 可按式 (5.2.5) 进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{Gjk} + \sum_{i=1}^n S_{Qik} + S_{Ad} \quad (5.2.5)$$

式中： S_{Ad} ——按偶然荷载标准值 A_d 计算的荷载效应值。

5.2.6 对于正常使用极限状态，应按荷载的标准组合计算荷载组合的效应设计值，并按式 (5.2.6) 进行计算：

$$S_d \leq C \quad (5.2.6)$$

式中： C ——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值，例如变形、裂缝、振幅等的限值。

5.2.7 荷载标准组合的效应值 S_d 应按式 (5.2.7) 进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{Gjk} + \sum_{i=1}^n S_{Qik} \quad (5.2.7)$$

5.3 荷载计算

5.3.1 结构自重标准值可按结构设计尺寸及材料标准重度计算确定。

5.3.2 结构附加恒载为棚洞内部装修、设备安装等产生的荷载，应根据设计基准期内可能发生的实际情况确定。

5.3.3 放坡开挖时围岩压力与土压力：

1 棚洞顶板回填土垂直压力可按式 5.3.3-1 计算：

$$q_i = \gamma_1 h_i \quad (5.3.3-1)$$

式中： q_i ——棚洞顶板结构上任意点 i 的回填土石垂直压力值 (kN/m^2)；

γ_1 ——棚洞顶回填土石重度 (kN/m^3)；

h_i ——棚洞顶板结构上任意点 i 的土柱高。

2 棚洞顶板回填土石侧压力可按式 5.3.3-2 计算：

$$e_i = \gamma_1 h_i \lambda \quad (5.3.3-2)$$

式中： e_i ——任意点 i 的侧压力 (kN/m^2)；

λ ——侧压力系数，计算公式为：

填土坡面向上倾斜（图 5.3.3-1）时按无限土体计算，即：

$$\lambda = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi_1}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi_1}} \quad (5.3.3-3)$$

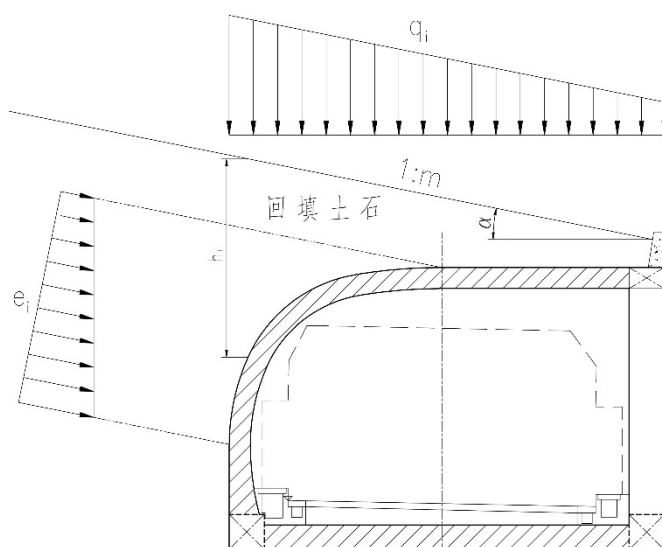


图 5.3.3-1

填土坡面向上倾斜（图 5.3.3-2）时按有限土体计算，即：

$$\lambda = \frac{1 - \mu n}{(\mu + n) \cos \rho + (1 - \mu n) \sin \rho} \cdot \frac{mn}{m - n} \quad (5.3.3-4)$$

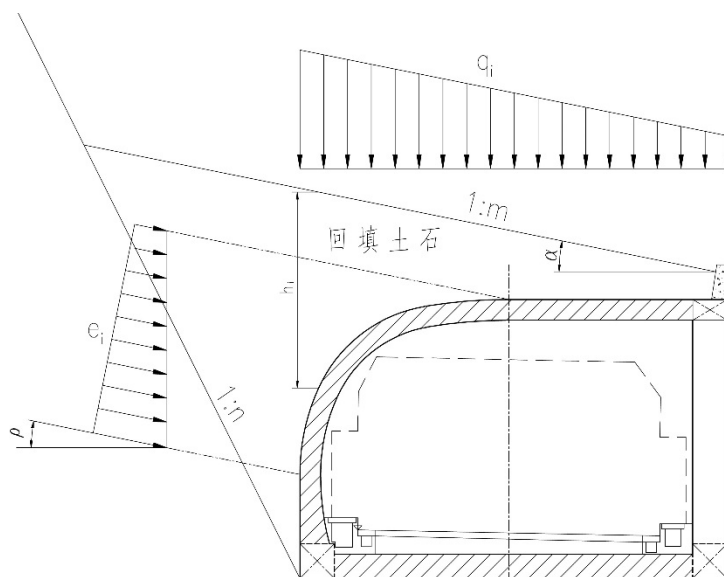


图 5.3.3-2

式中：α——设计填土面坡度角（°）；

φ_i——回填土石计算摩擦角（°）；

ρ——侧压力作用方向与水平线的夹角（°）；

n——开挖边坡坡度；

m——回填土石面坡度；

μ——回填土石与开挖边坡间的摩擦系数。

3 棚洞边墙回填土石侧压力可按式 5.3.3-5 计算：

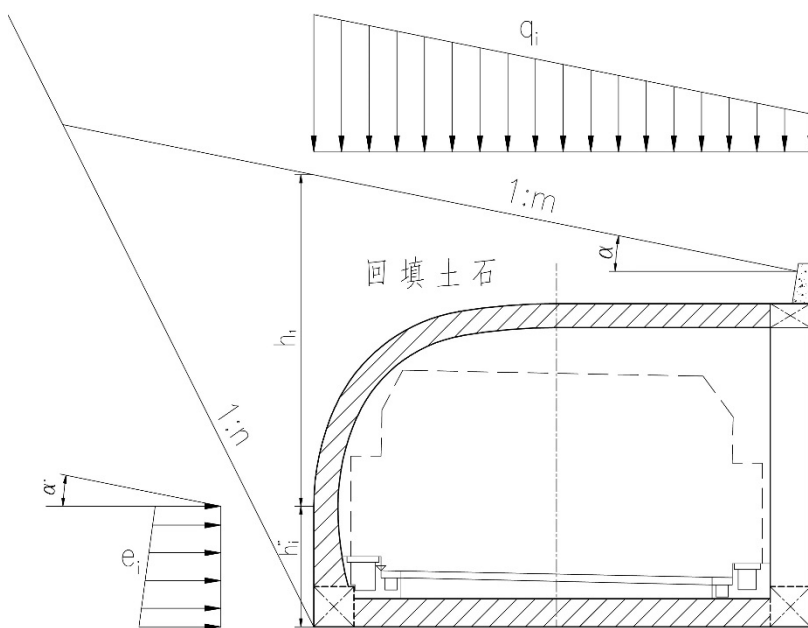


图 5.3.3-3

$$e_i = \gamma_2 h_i' \lambda \quad (5.3.3-5)$$

式中： γ_2 ——棚洞墙背回填土石重度（kN/m³）；

$$h_i' \text{——边墙计算点换算高度（m），} h_i' = h_i'' + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot h_1 \text{；}$$

h_i'' ——墙顶至计算位置高度（m）；

h_1 ——填土坡面至墙顶的垂直高度（m）；

λ ——侧压力系数，计算公式为：

填土坡面向上倾斜（图 5.3.3-3）时，

$$\lambda = \frac{\cos^2 \varphi_2}{[1 + \sqrt{\frac{\sin \varphi_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \alpha')}{\cos \alpha'}}]} \quad (5.3.3-6)$$

式中： φ_2 ——墙背回填土石计算摩擦角；

$$\alpha' = \arctan\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} \tan \alpha\right)$$

5.3.4 采用支护结构护壁明挖时围岩压力与土压力：

1 棚洞顶板回填土垂直压力可按式 5.3.3-1 计算。

2 棚洞边墙岩土侧压力可按式 5.3.4-1 计算：

$$e_i = \gamma h_i \lambda \quad (5.3.4-1)$$

式中： γ ——回填土重度（kN/m³）；

h_i ——任意一点 i 至地面的距离（m）；

λ ——侧压力系数，计算公式为：

$$\lambda = \frac{1}{\tan \beta - \tan \alpha} \times \frac{\tan \beta - \tan \varphi_c}{1 + \tan \beta (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \varphi_c \tan \theta} \quad (5.3.4-2)$$

α ——设计回填土坡面度角（°）；

φ_c ——围岩计算摩擦角（°）；

β ——产生最大推力时的破裂角（°），计算公式为：

$$\beta = \tan \varphi_c \sqrt{\frac{(\tan^2 \varphi_c + 1)(\tan \varphi_c - \tan \alpha)}{\tan \varphi_c - \tan \theta}} \quad (5.3.4-3)$$

θ ——顶板土柱摩擦角（°），无实测资料时，可参考表（5.3.4-1）选取；

表 5.3.4-1 摩擦角 θ 取值

围岩级别	I~III	IV	V	VI
θ 值	$0.9\varphi_c$	$(0.7\sim0.9)\varphi_c$	$(0.5\sim0.7)\varphi_c$	$(0.3\sim0.5)\varphi_c$

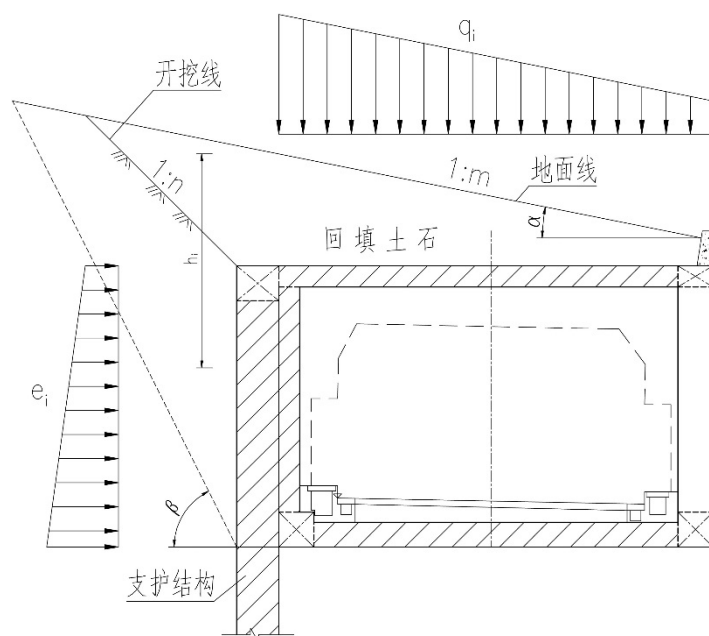


图 5.3.4-1

3 棚洞边墙岩土侧压力可参考有关设计手册计算。

5.3.5 棚洞结构采用全包防水或其他限制地下水排放措施时，需计入结构外围的水压力和水浮力。水压力和水浮力可参考有关设计手册计算。

5.3.6 对稳定性有严格要求的刚架和截面厚度大、变形受约束的结构，均应考虑温度变化和混凝土收缩徐变的影响。

5.3.7 公路车辆荷载、人群荷载应根据结构设计基准期内棚洞内车辆和人群的分布确定其作用的位置与量值，计算方法可采用现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 的相关规定。

5.3.8 棚洞上立交公路车辆荷载及其产生的冲击力、土压力、制动力，应根据结构设计基准期内棚洞周边公路建设的规划确定其作用位置与量值，计算方法可采用现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 的相关规定。

5.3.9 棚洞上立交铁路列车荷载及其产生的冲击力、土压力、制动力，应根据结构设计基准期内棚洞周边铁路建设的规划确定其作用位置与量值，计算方法可采用现行《铁路桥涵设计基本标准》(TB 10002.1) 的相关规定。

5.3.10 雪荷载应通过实际调查后确定。

5.3.11 立交渡槽流水压力，应计算立交渡槽的结构重量及渡槽内流水的重量。

5.3.12 存在冻害地区，棚洞结构设计应考虑冻胀力，冻胀力可根据当地的自然条件、围岩冬季含水量及排水条件等通过研究确定；应采取堵水、排水、换填、保温等综合措施降低冻害对棚洞的影响。

“最冷月份平均气温低于-15℃时”建议修改为“存在冻害地区”，并在句尾补充“并采取堵水、排水、换填、保温等综合措施降低冻害影响。”

5.3.13 施工荷载应根据施工阶段、施工方法和施工条件确定。

5.3.14 棚洞覆盖层浅，附近边坡在设计基准期内可能出现坍塌，应计算落石冲击荷载的作用，可按式 5.3.14-1 进行估算：

$$P_k = \frac{mv}{t} \quad (5.3.14-1)$$

式中： P_k ——落石冲击力标准值（kN）；

m ——落石质量（t）；

v ——落石冲击时的速度（m/s）；

t ——撞击时间（s）。

5.3.15 地震力应采用本标准第 10 章的规定计算。

5.4 安全风险评估

鉴于棚洞结构受力复杂、部分荷载存在较大的不确定性，且棚洞一般设置于特殊的地形、地质等条件下；根据交通运输部文件《关于在初步设计阶段实行公路桥梁和隧道工程安全风险评估制度的通知》要求，棚洞设计过程中可引入安全风险评估工作。

6 建筑材料

6.1 一般规定

6.1.1 棚洞工程常用的各类建筑材料，可选用下列强度等级：

- 1 混凝土：C50、C45、C40、C35、C30、C25、C20、C15；
- 2 石材：MU100、MU80、MU60、MU50、MU40；
- 3 水泥砂浆：M25、M20、M15、M10、M7.5；
- 4 喷射混凝土：C30、C25、C20；
- 5 混凝土砌块：MU30、MU20；
- 6 钢筋：HPB300、HRB400、HRB500；
- 7 钢材：Q235、Q345、Q390、Q420。

6.1.2 棚洞工程各部位的建筑材料，其强度等级不应低于表 6.1.2 的规定。

表 6.1.2 棚洞建筑材料强度要求表

工程部位 \ 材料种类		混凝土	片石混凝土	钢筋混凝土	喷射混凝土
主体结构及管沟	浅基/桩基	—	—	C30	
	底板/底梁	—	—	C30	
	立柱/斜腿	—	—	C30	
	边墙/拱部	—	—	C30	C25
	顶梁	—	—	C30	
	顶板	—	—	C30	
	底部填充	C15	—	—	—
	水沟、电缆槽	C25	—	C30	—
	沟、槽盖板	—	—	C30	—
洞门建筑	端墙	C25	C20	C30	—
	顶帽	C25	—	C30	—
	翼墙和洞口挡土墙	C25	C20	C30	—
	侧沟、截水沟	C20	—	—	—
	护坡	C20	—	—	C20

6.1.3 棚洞建筑材料的选用应符合下列规定：

- 1 应符合结构承载能力、正常使用和耐久性的要求，符合抗冻、抗渗和抗侵蚀的需要。
- 2 当结构处于侵蚀性环境时，混凝土和水泥砂浆均应采用具有抗侵蚀性能的特种水泥和集料配制，其抗侵蚀性能的要求根据侵蚀特征确定。
- 3 根据各地不同的料源情况，在修建棚洞时应在保证结构安全的前提下尽量因地制宜、就地取材。

6.1.4 混凝土和砌体所用的材料应符合下列要求：

- 1 混凝土不应使用碱活性集料。
- 2 钢筋混凝土构件中，钢筋的技术条件应符合现行《钢筋混凝土用钢》（GB 1499）的规定。
- 3 片石强度等级不应低于 MU40，块石强度等级不应低于 MU60，混凝土砌块强度等级不应低于 MU20；有裂缝和易风化的石材禁止采用。
- 4 片石混凝土内片石掺用量不得超过总体积的 20%。

6.1.4 喷锚支护采用的材料应符合下列要求：

- 1 喷射混凝土宜采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥。
- 2 集料级配宜采用连续级配，粗集料应采用坚硬耐久的碎石或卵石，不得使用碱活性集料；细集料应采用坚硬耐久的中砂或粗砂，细度模数宜大于 2.5，砂的含水率宜控制在 5%~7%；喷射混凝土中的石子粒径不宜大于 16mm，喷射钢纤维混凝土中的石子粒径不宜大于 10mm。
- 3 锚杆的杆体直径宜为 20~32mm，杆体材料宜采用 HRB400、HRB500 钢；垫板材料宜采用 Q235 钢。
- 4 锚杆用的各种水泥砂浆强度不应低于 M20。
- 5 钢筋网材料可采用 HPB300 钢，直径宜为 6~12mm。

6.2 材料性能

6.2.1 混凝土应满足以下主要强度指标：

- 1 混凝土的强度标准值按表 6.2.1-1 的规定采用。

表 6.2.1-1 混凝土强度标准值 (MPa)

强度种类	混凝土强度等级							
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压 f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4
轴心抗拉 f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64

- 2 混凝土的强度设计值按表 6.2.1-2 的规定采用。

表 6.2.1-2 混凝土强度设计值 (MPa)

强度种类	混凝土强度等级							
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压 f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1
轴心抗拉 f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89

- 3 混凝土的受压弹性模量 E_c 按照表 6.2.1-3 采用，混凝土的剪切弹性模量可按照表中的数值乘以 0.4 采用。混凝土的泊松比可采用 0.2。当温度在 0℃ 到 100℃ 范围内时，混凝土线膨胀系数 α_c 可采用 $1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。

表 6.2.1-3 混凝土的弹性模量 E_c (GPa)

混凝土强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
弹性模量 E_c	22.0	25.5	28.0	30.0	31.5	32.5	33.5	34.5

- 4 混凝土的其它材料性能指标尚应符合《混凝土结构设计标准》(GB 50010) 的有关规定。

6.2.2 钢筋应满足以下主要强度指标及要求：

- 1 钢筋的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。
- 2 钢筋的强度标准值应按表 6.2.2-1 采用。
- 3 弹性模量：HPB300 钢筋采用 210GPa，HRB400 及 HRB500 钢筋采用 200GPa。
- 4 横向钢筋的抗拉强度设计值 f_{yv} 应按表 6.2.2-2 中 f_y 的数值采用；当用作受剪、受扭、受冲切承载力计算时，其数值大于 360N/mm² 时应取 360N/mm²。
- 5 钢筋的其它材料性能指标尚应符合《混凝土结构设计标准》（GB 50010）的有关规定。

表6.2.2-1 普通钢筋强度标准值（MPa）

钢筋种类	HPB300	HRB400	HRB500
屈服强度标准值 f_{yk}	300	400	500
极限强度标准值 f_{stk}	420	540	630

表6.2.2-2 普通钢筋强度设计值（MPa）

钢筋种类	HPB300	HRB400	HRB500
抗拉强度设计值 f_y	270	360	435
抗压强度设计值 f_y'	270	360	410

- 6.2.3 钢材的强度设计值，应根据钢材厚度或直径按表 6.2.3 采用；其它材料性能指标尚应符合《钢结构设计标准》（GB 50017）的有关规定。

表6.2.3 钢材的强度设计值（N/mm²）

钢 材		抗拉、抗压和抗弯	抗剪	端面承压(刨平顶紧)
牌号	厚度或直径(mm)	f	f_v	f_{ce}
Q235 钢	≤ 16	215	125	325
	$> 16 \sim 40$	205	120	
	$> 40 \sim 60$	200	115	
	$> 60 \sim 100$	190	110	
Q345 钢	≤ 16	310	180	400
	$> 16 \sim 40$	295	170	
	$> 40 \sim 60$	265	155	
	$> 60 \sim 100$	250	145	
Q390 钢	≤ 16	350	205	415
	$> 16 \sim 40$	335	190	
	$> 40 \sim 60$	315	180	
	$> 60 \sim 100$	295	170	
Q420 钢	≤ 16	380	220	440
	$> 16 \sim 40$	360	210	
	$> 40 \sim 60$	340	195	

	>60~100	325	185	
--	---------	-----	-----	--

注：表中厚度系指计算点的钢材厚度，对轴心受拉和轴心受压构件系指截面中较厚板件的厚度。

6.2.4 防水卷材必须满足如下性能要求：

- 1 耐水性，即在地下水的作用下其性能基本不发生改变，在水压力下不具有透水性；
- 2 温度稳定性，即在高温下不流淌、不起泡、不滑动；在低温下不脆裂；
- 3 具有一定的机械强度、延伸性和抗断裂性，在承受结构允许范围内荷载应力和变形条件下不发生断裂；
- 4 柔韧性，防水材料特别要求具有低温柔性，保证施工不脆裂；
- 5 大气稳定性，即在阳光、热、氧气及其他化学侵蚀介质、微生物侵蚀介质等因素的长期综合作用下抗老化、抗侵蚀。

6 防水卷材可选用乙烯—醋酸乙烯共聚物（EVA）、乙烯—醋酸乙烯与沥青共聚物（ECB）、聚氯乙烯（PVC）、高密度聚乙烯（HDPE）或其他性能相似的材料，防水卷材厚度不宜小于 1.5mm。防水卷材的物理力学性能应符合表 6.2.4 的规定。

表 6.2.4 防水卷材主要性能指标表

项 目	单位	指 标			
		乙烯—醋酸乙 烯共聚物 (EVA)	乙烯—醋酸乙 烯与沥青共聚 物 (ECB)	聚氯乙烯 (PVC)	高密度聚乙烯 (HDPE)
拉伸强度 \geq	MPa	16	14	10	16
断裂伸长率 \geq	%	550	500	200	550
不透水性 (120min) \geq	MPa	0.3	0.3	0.3	0.3
低温弯折性	—	-35℃无裂纹	-35℃无裂纹	-20℃无裂纹	-35℃无裂纹
热处理变化率 \leq	%	2.0	2.5	2.0	2.0

7 防水层应由防水卷材与缓冲层组成。缓冲层宜采用无纺布，无纺布的质量不宜小于 400 g/m²，纵向抗拉强度不宜小于 700N/50mm，纵向伸长率不宜小于 50%。

8 防水材料的其它性能指标尚应符合《地下工程防水技术规范》（GB 50108）的有关规定。

7 洞口及洞门

7.1 一般规定

7.1.1 设计原则:

- 1 棚洞洞口位置应根据地形、地质条件,满足棚洞功能作用,同时结合环境保护、洞外关联工程衔接、施工条件、经济比选及营运要求等确定。
- 2 洞门结构型式力求简单、适用,安全可靠,利于环保。
- 3 棚洞洞门、洞口工程应选择合理的施工方式。洞口边坡应根据实际地形、地质情况采取防护措施,有条件时宜优先采用生物护坡工程技术。
- 4 棚洞洞口设计应减少边坡开挖高度。

7.1.2 棚洞洞口的排水应与洞外衔接工程排水系统进行统筹布置。设置的截水沟、排水沟应与路基排水工程、天然沟渠有效衔接。

7.2 洞口工程

7.2.1 洞口位置的确定应遵循下列原则:

- 1 洞口位置应设于山体稳定、地质条件较好处。
- 2 当棚洞洞口无法完全避开不良地质区时,应采取防护措施。
- 3 位于悬崖陡壁下的洞口,不宜切削原山坡;洞口应避免设置于不稳定的悬崖陡壁下。
- 4 当棚洞跨沟或沿沟进洞时,应分析水文情况。
- 5 漫坡地段的洞口位置及棚洞段长度的确定等,应结合工程造价,并考虑洞外路堑地质、弃渣、排水及施工等因素。
- 6 洞口位置应考虑与附近地面建筑及地下埋设物的相互影响。

7.2.2 棚洞洞口与路基、桥梁的衔接应符合下列要求:

- 1 棚洞洞口与路基衔接过渡段的长度应满足行车视距和行车舒适的基本要求。
- 2 与桥梁相邻洞口段,应在桥台浇筑、台背回填完成后,再进行棚洞的施工;还应结合桥梁架设的具体要求,对相接段棚洞断面进行拓宽(或棚洞宽度与桥梁同宽);洞门形式及洞口景观设计应结合桥梁综合考虑。
- 3 在洞口与桥梁紧接时,宜将棚洞与桥梁进行合建或采用桥上棚洞方案。
- 4 当洞口地质条件较差时,应采取加固措施。

7.2.3 洞口工程的设计应遵循下列规定:

- 1 洞口边坡应根据实际情况采取防护或加固措施,有条件时宜优先采用生物防护措施。
- 2 当洞口处有坍方、落石、泥石流等时,应延长棚洞或设置支挡构造物等措施。
- 3 当对棚洞边墙背后进行回填,墙背与岩壁间空隙不大时,可采用与墙身同级的混凝土回填;当空隙较大时,可采用片石混凝土回填密实。
- 4 棚洞洞顶当回填至拱顶齐平后,应立即分层满铺填筑;洞顶回填土应以均匀的纵向坡率回填至洞门位置;回填后的地面线与原地面线衔接平顺。

7.3 洞门工程

7.3.1 洞门应能保证棚洞的正常营运，并与环境相协调。

7.3.2 洞门构造及基础设置应遵循的规定：

- 1 洞门墙应有一定的强度、稳定性和抗震性，根据实际需要设置伸缩缝、沉降缝、泄水孔。
- 2 洞门基础必须置于稳固的地基上，当洞门地基承载力不足时，可根据具体情况采用换填、扩大基础、桩基等措施。
- 3 在有冻土的地区，洞门基底应埋至最大冻结线以下不小于 0.25 m，地基为冻胀土层时，应进行防冻胀处理。
- 4 洞门端墙墙体与棚洞结构相交的部位应沿周圈均匀布设连接筋，连接筋采用带肋钢筋，钢筋伸入结构长度应不小于 50cm，伸入端墙墙体的长度应不小于 100cm，且连接筋端头均应设置弯钩。
- 5 当端墙墙面面域较大，或采用薄壁轻型端墙时，墙体与衬砌相交部位设置连接钢筋应满足第 4 条的规定，另外，墙体内外两侧应设置纵横向构造配筋。
- 6 洞门结构的构造等要求应满足现行规范条文的规定。

8 结构设计

8.1 一般规定

8.1.1 棚洞结构根据地形地质条件、施工条件和使用要求可分别采用框架式结构、悬臂式结构、拱形结构、多跨结构等结构形式。结构构件可采用现浇构件或预制构件。

8.1.2 结构的型式和尺寸应通过结构计算和工程类比确定，必要时，还应经过试验论证。棚洞基础的基底应力大于地基承载能力设计值时应采取换填、采用桩基础等措施处理；结构整体滑动稳定系数不应小于 1.3，倾覆稳定系数不应小于 1.5。

8.1.3 棚洞顶板采用预制构件时应采取防落梁措施。

8.1.4 棚洞顶板上回填层应不小于 1.0m，并应采取防落石冲击的缓冲措施。顶板顶面应做成不小于 2% 的排水横坡。

8.1.5 地质较差地段的结构应向地质较好地段延伸，延伸长度宜为 5~10m。

8.1.6 棚洞结构应设置变形缝，缝的间距可根据施工工艺、使用要求、围岩条件以及环境温度相对与结构施工时的变化等确定。硬软地层分界处以及荷载发生较大变化处，可能产生较大差异沉降时，宜通过地基处理、结构措施或设置后浇带等方法，将结构的纵向沉降曲率和沉降差控制在允许的变形范围内，确保变形缝两边结构不产生影响行车安全和正常使用的差异沉降。变形缝宽度应大于 20mm，缝内可以嵌填浸沥青木板或沥青麻丝。变形缝应垂直于棚洞轴线设置，并应与施工缝统筹设置。

8.1.7 预埋在构件内的受力钢筋、钢筋连接器或连接板锚筋等，均应满足受力和防水要求，其锚固长度应符合构造规定。钢筋连接器的性能应符合现行《钢筋机械连接技术规程》（JGJ 107）的规定。

8.1.8 结构分析的模型应符合下列要求：

- 1 结构分析采用的计算简图、几何尺寸、计算参数、边界条件、结构材料性能指标以及构造措施等应符合实际工作状态；
- 2 结构上可能的作用及组合、初始应力和变形状况等，应符合结构的实际状况；
- 3 结构分析中所采用的各种近似假定和简化，应有理论、试验依据或经工程实践验证；计算结果的精度应符合工程设计的要求。

8.1.9 结构分析所采用的计算软件应经考核和验证，其技术条件应符合本标准和国家现行有关标准的要求。应对分析结果进行判断和校核，在确认其合理、有效后方可应用于工程设计。

8.2 框架式棚洞

8.2.1 框架式棚洞适用于放坡开挖或支护结构护壁施工的明挖结构。

8.2.2 框架式棚洞由内墙、顶板、底板（或底横梁）、外侧支撑结构组成。外侧支撑结构可采用开孔直墙、直立柱或斜柱。棚洞基础应置于稳固的地基上，并应有足够的护基宽度和嵌入深度。当地基为坚硬完整的岩层时，基础可切割成台阶，混凝土基础台阶的坡线与垂直线之间的夹角不应大于 45°，砌体基础不应大于 35°，必要时应设桩基础。各构件截面尺寸，应根据地形、地质和荷载等情况，经结构计算确立。

8.3 悬臂式棚洞

8.3.1 悬臂式棚洞适用于边坡有小量坍塌、落石，外侧地形狭窄，地层松软，基岩埋藏深，不宜设置支承结构的地段；梁、板可预制吊装；可通过锚杆把内墙与梁锚固于稳定坚固岩层内，提高其稳定性。悬臂式棚洞不宜用于设计基本地震动峰值加速度大于 0.20g 的地区。

8.3.2 悬臂式棚洞应加强悬臂梁、板与边墙、岩层间的连接。棚洞基础设计应符合 8.2.2 条的有关规定。

8.3.3 悬臂梁或板一般采用现浇或预制钢筋混凝土矩形、I 字形或倒 T 形截面构件。

8.4 拱形棚洞

8.4.1 拱形棚洞是顶板与侧墙为弧形的结构，一般适用于靠山侧采用暗挖法的地段。

8.4.2 暗挖法施工的结构应以喷射混凝土、钢拱架或锚杆为主要支护手段，根据围岩和环境条件、结构埋深和断面尺寸等，选择适宜的开挖方法、支护形式，尽量使用锚固技术，合理利用围岩的自承能力。施工中应通过监控量测，进行动态设计和信息化施工。棚洞基础设计应符合 8.2.2 条的有关规定。

8.4.3 复合式衬砌中的二次衬砌应及时施作，共同与初期支护承受外部荷载。作用在不排水型结构上的水压力由二次衬砌承担。

8.5 多跨棚洞

8.5.1 四车道及以上棚洞结构宜采用多跨结构。

8.5.2 多跨棚洞顶板宜采用连续结构或整体框架结构。棚洞基础设计应符合 8.2.2 条的有关规定。

8.6 棚洞顶板回填与缓冲层

8.6.1 山体一侧存在边坡一次塌方量大、落石较多时，应加强棚洞顶的缓冲层，可适当增加泡沫板回填层和回填土石层的厚度。

8.6.2 山体存在大型落石冲击可能时，应做专门的减隔震消能设计，确保结构受到冲击时不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

8.6.3 当棚洞顶板上有特殊用途时，应根据其特殊用途，选用合适的荷载工况及其组合，使棚洞具有合适的结构安全等级。

8.7 构造要求

8.7.1 当采用钢筋混凝土结构时，混凝土的强度等级不应小于 C30，抗渗等级应不低于 P8，受力主筋的保护层厚度不应小于 40mm，直接与岩土接触的一侧保护层厚度不应小于 55mm。当按《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476) 的规定，环境作用等级为 D、E、F 级时，应根据棚洞所处的环境类别及其环境作用等级确定钢筋保护层厚度。

8.7.2 纵向受力普通钢筋应采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋，箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋，也可采用 HRB335、HRBF335 钢筋。

8.7.3 当棚洞外侧地形陡峻狭窄时，棚洞外侧，应加设防撞护墙。

8.7.4 普通钢筋混凝土结构的最大裂缝宽度允许值应根据结构类型、使用要求、所处环境和防水措施等因素确定。处于一般环境中的结构，按荷载效应标准组合在长期作用影响时，最大裂缝宽度允许值，可按表 8.7.4 中数值进行控制；处于冻融环境或侵蚀环境等不利条件下的结构，其最大裂缝宽度允许值应

根据具体情况另行确定。

表 8.7.4 最大裂缝计算宽度允许值

环境情况	允许值 (mm)	备注
水中环境、土中缺氧环境	0.3	
洞内干燥环境或洞内潮湿环境	0.3	环境相对湿度 45%~80%
迎土面干湿交替环境	0.2	

注：当设计采用的最大裂缝宽度的计算式中保护层实际厚度超过 30mm 时，可将保护层厚度的计算值取为 30mm。

8.7.5 装配式构件的尺寸应符合制作、吊装、运输以及施工的安全和方便要求。接头设计应满足受力、防水和耐久性要求。

8.7.6 钢筋混凝土结构构件中纵向受力钢筋的配筋百分率 ρ_{\min} 不应小于表 8.7.6 规定的数值。

表 8.7.6 纵向受力钢筋的最小配筋百分率 ρ_{\min} (%)

受 力 类 型			最小配筋百分率
受压构件	全部纵向钢筋	强度等级 500MPa	0.50
		强度等级 400MPa	0.55
		强度等级 300MPa、335MPa	0.60
	一侧纵向钢筋		0.20
受弯构件、偏心受拉、轴心受拉构件一侧的受拉钢筋			0.20 和 $0.45f_t/f_y$ 中的较大值

注：1 受压构件全部纵向钢筋最小配筋百分率，当采用 C60 以上强度等级的混凝土时，应按表中规定增加 0.10；

2 板类受弯构件（不包括悬臂板）的受拉钢筋，当采用强度等级 400MPa、500MPa 的钢筋时，其最小配筋百分率应允许采用 0.15 和 $0.45f_t/f_y$ 中的较大值；

3 偏心受拉构件中的受压钢筋，应按受压构件一侧纵向钢筋考虑；

4 受压构件的全部纵向钢筋和一侧纵向钢筋的配筋率以及轴心受拉构件和小偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率均应按构件的全截面面积计算；

5 受弯构件、大偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率应按全截面扣除受压翼缘面积 $(b_f' - b) h_f'$ 后的截面面积计算；

6 当钢筋沿构件截面周边布置时，“一侧纵向钢筋”系指沿受力方向两个对边中一边布置的纵向钢筋。

8.7.7 钢筋混凝土受弯构件的最大挠度应按荷载的标准组合，并均应考虑荷载长期作用的影响进行计算，但计算值不超过表 8.7.7 规定的挠度限值。

表 8.7.7 受弯构件的挠度限值

构件类型		挠度限值
梁、板构件	当 $l_0 < 7\text{m}$ 时	$l_0/200$ ($l_0/250$)
	当 $7\text{m} \leq l_0 \leq 9\text{m}$ 时	$l_0/250$ ($l_0/300$)
	当 $l_0 > 9\text{m}$ 时	$l_0/300$ ($l_0/400$)

注：1 表中 l_0 为构件的计算跨度；计算悬臂构件的挠度限值时，其计算跨度 l_0 按实际悬臂长度的 2 倍取用；

2 表中括号内的数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件；

3 如果构件制作时预先起拱，且使用上也允许，则在验算挠度时，可将计算所得的挠度值减去起拱值；对预应力混凝土构件，尚可减去预加力所产生的反拱值；

4 构件制作时的起拱值和预加力所产生的反拱值，不宜超过构件在相应荷载组合作用下的计算挠度值。

9 结构计算

9.1 一般规定

9.1.1 棚洞结构应进行支护结构内力计算及强度校核。应根据承载能力极限状态及正常使用极限状态的要求，分别按下列规定进行计算和验算：

1 承载能力与稳定性：结构构件均应进行承载能力（包括压屈失稳）的计算，必要时尚应进行结构整体稳定性计算；

2 变形：对使用上需变形控制的结构构件，应进行变形验算；

3 对不允许出现裂缝的构件，应进行混凝土拉应力验算；

4 对允许出现裂缝的构件，应进行受力裂缝宽度验算。

9.1.2 棚洞结构应进行横断面方向的受力计算，计算简图应符合结构的实际工作条件，反映围岩对结构的约束作用。支护采用双层结构时，应根据两层结构之间的构造形式和结构情况，选用与其传力特征相符的计算模型。当受力过程中、受力体系、荷载形式的有较大变化时，宜根据构件的施作顺序及受力条件，按结构的实际受载过程过程进行分析，考虑结构体系变形的延续性。遇下列情况时，尚应对其纵向强度和变形进行分析：

1 覆土荷载沿其纵向有较大变化时；

2 结构直接承受建、构筑物等较大局部荷载时；

3 地基或基础有显著差异时；

4 地基沿纵向产生不均匀沉降时。

9.1.3 桩、墙式围护结构的设计应根据设定的开挖工况和施工顺序按竖向弹性地基梁模型逐阶段计算其内力及变形。当计入支撑作用时，应考虑每层支撑设置时墙体已有的位移和支撑的弹性变形。

9.1.4 底板、底梁应按支撑在弹性地基上的结构物计算。

9.1.5 棚洞结构应采用荷载-结构法进行内力计算，也可按地层-结构法进行内力计算。

9.2 荷载-结构计算法

9.2.1 荷载-结构法计算原理为棚洞施工后结构应能安全可靠地承受永久荷载、可变荷载和偶然荷载的作用，计算时先确定各项荷载，然后按弹性地基上的结构物的计算方法计算结构内力，并进行结构截面设计。

9.2.2 基本假定

1 假定结构为弹性梁，梁的变形为小变形，将结构离散为足够多个直杆梁单元，计算时进行整体分析，由于荷载不对称，应计及基底不均匀沉陷的影响。

2 用布置于各节点上的弹簧单元来模拟围岩与结构间的相互约束，假定弹簧不承受拉力，即不计围岩与结构间的粘结力，弹簧受压时的反力 F_d ，即为围岩对衬砌的弹性抗力。弹性抗力的大小可按式 9.2.2-1 计算：

$$F_d = K_d \delta \quad (9.2.2-1)$$

9.2.3 计算方法

1 采用杆系有限单元位移法计算，基本方程为：

$$[K]\{\delta\}=\{P\} \quad (9.2.3-1)$$

式中：[K]——结构的整体刚度矩阵；

$\{\delta\}$ ——结构节点位移矢量，包括节点的全部自由度；

$\{P\}$ ——结构节点的总荷载矢量。

求出节点位移 $\{\delta\}$ 后，再求出杆端内力。单元杆端内力按式 9.2.3-2 计算：

$$\{\bar{F}\}^e = [\bar{k}]^e \{\bar{\delta}\}^e + \{\bar{F}_0\}^e \quad (9.2.3-2)$$

式中： $\{\bar{F}\}^e$ ——单元 e 的杆端内力；

$[\bar{k}]^e$ ——单元 e 的局部坐标系刚度矩阵；

$\{\bar{\delta}\}^e$ ——单元 e 的杆端节点位移；

$$\{\bar{\delta}\}^e = [T]\{\delta\}^e \quad (9.2.3-3)$$

$\{\delta\}^e$ ——从位移 $\{\delta\}$ 中取出的单元 e 两端的节点位移；

$\{\bar{F}_0\}^e$ ——单元 e 的固端内力；

2 单元刚度矩阵计算

两端刚接单元：

$$[\bar{k}]^e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \quad (9.2.3-4)$$

两端铰接单元：

$$[\bar{k}]^e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9.2.3-5)$$

式中： $[\bar{k}]^e$ ——梁单元在局部坐标系下的刚度矩阵；

l ——梁单元的长度；

A ——梁截面面积；

I ——梁的惯性矩；

E ——梁的弹性模量。

整体坐标系单元刚度矩阵 $[k]^e$ ：

$$[k]^e = [T]^T [\bar{k}]^e [T] \quad (9.2.3-6)$$

式中： $[T]$ ——转置矩阵，表达式为：

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9.2.3-7)$$

α ——局部坐标系与整体坐标系之间的夹角。

9.2.4 计算基本过程

- 1 将结构离散化，计算各分块单元的基本几何参数；
- 2 荷载计算。单元自重按作用于单元中心的单元力计算；土压力按作用于荷载图形形心的单元力计算，单元力按静力等效原则转换成节点力列阵进行结构分析；
- 3 计算单元刚度矩阵，组集总刚度矩阵；
- 4 按式 9.2.3-1 并引入支撑条件后解方程求节点位移；
- 5 按式 9.2.3-2 求解单元内力，并转换为截面内力进行截面强度检算。

9.3 地层-结构计算法

9.3.1 地层-结构法计算原理是将结构和地层视为整体，在满足变形协调条件的前提下分别计算结构与地层的内力，并据以验算地层的稳定性和进行构件截面设计。

9.3.2 计算方法

1 初始地应力的计算

1) 初始自重应力：通常用有限单元法或给定水平侧压力系数法计算。

有限单元法：即初始自重应力由有限单元法算得，并将其转化为等效节点荷载。

给定水平侧压力系数法：即在给定水平侧压力系数 K_0 值后，按下式计算初始自重地应力：

$$\sigma_z^g = \sum \gamma_i H_i \quad (9.3.2-1)$$

$$\sigma_x^g = K_0 \cdot (\sigma_z^g - p_w) + p_w \quad (9.3.2-2)$$

式中： σ_z^g 、 σ_x^g ——竖直方向和水平方向初始自重地应力；

γ_i ——计算点以上第 i 层岩石的重度；

H_i ——计算点以上第 i 层岩石的厚度；

p_w ——计算点的孔隙水压力，在不考虑地下水头变化的条件下， p_w 由计算点的静水压力确定，即 $p_w = \gamma_w H_w$ (γ_w 为地下水的重度， H_w 为地下水水位差)。

2) 构造应力：可假设为均布或线性分布应力，假设主应力作用方向保持不变，则二维平面应变的普遍表达式为 9.3.2-3 式：

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^s &= a_1 + a_4 z \\ \sigma_z^s &= a_2 + a_5 z \\ \tau_{xz}^s &= a_3 \end{aligned} \right\} \quad (9.3.2-3)$$

式中： $a_1 \sim a_5$ ——常系数；

z ——竖直坐标；

3) 初始地应力：将初始自重应力与构造应力叠加，即得初始地应力。

2 本构模型

1) 岩石单元：可选用线弹性模型、非线性弹性模型、弹塑性模型、粘弹性模型及节理模型。

2) 结构单元：与 9.2 节中单元刚度矩阵计算相同。

3) 接触面单元：采用无厚度节理单元模拟，不考虑法向和切向的耦合作用时，有增量表达式

$$\begin{bmatrix} \Delta \tau_s \\ \Delta \sigma_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_s & 0 \\ 0 & K_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta u_s \\ \Delta u_n \end{bmatrix} = [K^e] \cdot \begin{bmatrix} \Delta u_s \\ \Delta u_n \end{bmatrix} \quad (9.3.2-4)$$

式中： $\Delta \tau_s$ ——单元切向应力增量；

$\Delta \sigma_n$ ——单元法向应力增量；

K_s ——单元切向刚度；

K_n ——单元法向刚度；

Δu_s ——单元切向位移增量；

Δu_n ——单元法向位移增量。

接触面单元材料的应力-应变关系一般为非线性关系，并常处于塑性受力状态。当屈服条件采用莫尔-库伦屈服条件，并假定节理材料为理想弹塑性材料及采用关联流动法则时，对平面应变问题，可导出接触面单元剪切滑移的塑性矩阵为

$$[D_p] = \frac{1}{S_0} \begin{bmatrix} K_s^2 & K_s S_1 \\ K_s S_1 & S_1^2 \end{bmatrix} \quad (9.3.2-5)$$

式中： $S_0 = K_s + K_n \tan^2 \varphi$ ；

$S_1 = K_n \tan \varphi$ ；

φ ——接触面的内摩擦角 (°)。

处于非线性状态的接触面单元，应力与相对位移间的关系式为

$$\tau_s = K_s \bullet \Delta u_s \quad (9.3.2-6)$$

$$\sigma_n = K_n v_m \frac{\Delta u_n}{v_m - \Delta u_n} \quad (9.3.2-7)$$

式中： v_m ——接触面单元的法向最大允许嵌入量。

3 屈服准则

1) 德鲁克-普拉格准则 (简称 D-P 准则)

$$f = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0 \quad (9.3.2-8)$$

式中： I_1 ——应力张量的第一不变量；

J_2 ——应力偏量的第二不变量；

c ——围岩的粘聚力；

φ ——围岩的内摩擦角 (°)；

$$\alpha = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{3} \sqrt{3 + \sin^2 \varphi}} \quad (9.3.2-9)$$

$$k = \frac{\sqrt{3} c \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3 + \sin^2 \varphi}} \quad (9.3.2-10)$$

2) 莫尔-库伦准则 (简称 M-C 准则)

$$f = \frac{1}{3} I_1 \sin \varphi - (\cos \theta + \frac{1}{\sqrt{3}} \sin \theta \cdot \sin \varphi) \sqrt{J_2} + c \cdot \cos \varphi = 0 \quad (9.3.2-11)$$

$$\text{式中: } \theta = \frac{1}{3} \sin^{-1} \left[\frac{-3\sqrt{3}}{2} \frac{J_3}{(J_2)^{\frac{3}{2}}} \right], \quad -\frac{\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{\pi}{6};$$

J_3 ——应力偏量的第三不变量。

9.3.3 计算基本过程

- 1 地层模拟：确定计算范围与边界条件，进行单元离散化和初始地应力计算；
- 2 结构模拟：计算结构单元刚度矩阵，组集总刚度矩阵；
- 3 施工过程模拟：建立节点平衡方程，引入支撑条件，按施工阶段逐步进行释放荷载计算，解方程求节点位移；
- 4 岩体单元抗拉强度和抗剪强度屈服度判定；
- 5 求解单元内力，并转换为截面内力进行截面强度检算。

10 棚洞抗震设计

10.1 一般规定

10.1.1 公路棚洞的地震作用包括水平向地震作用和竖向地震作用，应根据场地设计地震动峰值加速度和地震动反应谱特征周期确定。

10.1.2 公路棚洞的地震基本烈度和水平向、竖向设计基本地震动峰值加速度 A_h 、 A_v 的对应关系，应符合表 10.1.2 的规定。

表 10.1.2 地震基本烈度和设计地震动峰值加速度对应表

地震基本烈度	6	7		8		9
水平向 A_h	$\geq 0.05g$	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	$\geq 0.40g$
竖向 A_v	0	0		0.10g	0.17g	0.25g

10.1.3 公路棚洞应进行抗震设计。不需要进行专门工程场地地震安全性评价的公路棚洞，应根据现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306) 规定的地震动参数进行抗震设防。地震动峰值加速度大于或等于 0.40g 地区的公路棚洞抗震设计应专门研究，如棚洞设在高速公路和一级公路的抗震危险地段，则还应按照有关规定，进行工程场地地震安全性评价。

10.1.4 棚洞抗震设防目标是：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，主体结构不受损或不需修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震（即 E1）影响时，可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；当遭受高于本地区设防烈度的罕遇地震（即 E2）影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

10.1.5 设计基本地震动峰值加速度大于或等于 0.10g 地区的公路棚洞，应按 E1 地震作用进行弹性抗震设计计算，按 E2 地震作用进行延性抗震设计计算，并应采取相应抗震措施。

10.1.6 公路棚洞可按静力法或反应位移法进行抗震计算，体型复杂的棚洞结构可以采用时程分析法进行抗震计算。

10.1.7 当公路棚洞处于液化土层或软弱粘土层时，应采取措施防止地层液化、不均匀沉降以及震陷对结构的不利影响。

10.1.8 公路棚洞的抗震设计，除应符合本标准要求外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

10.2 地震作用

10.2.1 结构自重产生的地震作用

1 计算点结构自重产生的水平地震作用，按式 (10.2.1-1) 计算：

$$E_{ih} = C_i C_z K_h G_{is} \quad (10.2.1-1)$$

2 计算点结构自重产生的竖向地震作用，按式 (10.2.1-2) 计算：

$$E_{iv} = C_i C_z K_v G_{is} \quad (10.2.1-2)$$

式中： C_i ——抗震重要性修正系数，应按表 10.2.1-1 确定。

表 10.2.1-1 公路棚洞抗震重要性修正系数 C_a

设计安全等级	E1 地震作用	E2 地震作用
一级	1.0	1.7
二级	0.43	1.3
三级	0.34	1.0

C_x —综合影响系数，水平方向岩石地基的棚洞采用 0.2，其它情况采用 0.25；竖向为水平方向的 65%。

K_h 、 K_v ——分别为水平地震系数、竖向地震系数震系数,按表 10.2.1-2 确定。

表 10.2.1-2 地震系数

地震基本烈度	7		8		9
地震动峰值加速度系数	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
水平地震系数	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
竖向地震系数	0		0.10	0.17	0.25

G_{is} ——计算点的结构重量 (kN)。

10.2.2 棚洞顶回填土地震作用

1 回填土产生的附加水平地震作用,按式(10.2.2-1)计算:

$$q_{ih} = C_i C_z K_h h_i \gamma \quad (10.2.2-1)$$

2 回填土产生的附加竖向地震作用,按式(10.2.2-2)计算:

$$q_{iy}=C_iC_zK_{yi}h_i\gamma \quad (10.2.2-2)$$

式中: h_i —计算点到回填表面的垂直距离 (m)。

 γ —回填土重度 (kN/m^3)

其他符号意义同前。

10.2.3 内墙地震土压力作用

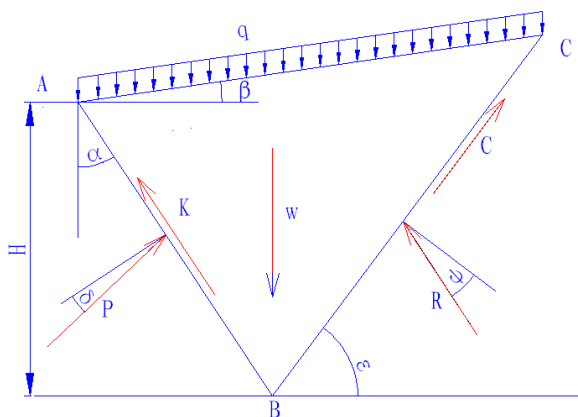


图 10.2.3 地震土压力计算示意图

棚洞内墙地震土压力可按下式计算：

1、地震主动土压力

$$E_{ea} = \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 + qH \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta)} \right) K_a - 2cHK_{ca} - \quad (10.2.3-1)$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi_0 - \alpha - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta + \theta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_0 + \delta) \sin(\varphi_0 - \beta - \theta)}{\cos(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \delta + \theta)}} \right)} \quad (10.2.3-2)$$

$$K_{ca} = \frac{1 - \sin \varphi_0}{\cos \varphi_0} - \quad (10.2.3-3)$$

式中：\$K_a\$—地震主动土压力系数；

\$K_{ca}\$—土体内聚力产生的负土压力系数；

\$\gamma\$—墙背土体的计算容重，地下水位采用浮重（kN/m³）；

\$H\$—墙高（m）；

\$q\$—滑裂楔体上的竖向均布超载标准值（kPa）；

\$\alpha\$—墙面与竖直方向之间的夹角（°）；

\$\beta\$—填土表面与水平面的夹角（°）；

\$c\$—填土的粘聚力（kPa），当为砂性土时，\$c=0\$；

\$\varphi_0\$—非震条件下墙背土体的内摩擦角（°）；

\$\delta\$—非震条件下填土与挡土墙背的摩擦角（°）；

\$\theta\$—地震角（°），按表 10.2.3 选取。

表 10.2.3 地震角取值表

抗震设防烈度		7	8	9
\$\theta\$（°）	地下水位以上	1.5	3.0	6.0
	地下水位以下	2.5	5.0	10.0

2、地震被动土压力

$$E_{ep} = \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 + qH \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta)} \right) K_{psp} + 2cHK_{cp} - \quad (10.2.3-4)$$

$$K_{psp} = \frac{\cos^2(\varphi_o + \alpha - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \alpha \cos(\alpha - \delta + \theta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_o + \delta) \sin(\varphi_o + \beta - \theta)}{\cos(\delta + \theta - \alpha) \cos(\alpha - \theta)}} \right)^2} \quad (10.2.3-5)$$

$$K_{cp} = \frac{\sin(\varphi_o - \theta) + \cos \theta}{\cos \theta \cos \varphi_o} \quad (10.2.3-6)$$

式中：K_{psp}—地震被动土压力系数由式（10.2.3-5）计算；

K_{cp}—土体内聚力产生的被动土压力系数；

其他符号意义同前。

10.3 截面抗震验算

10.3.1 结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合，应按公式下计算。

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Gv} S_{Evk} \quad (10.3.1-1)$$

式中：S——结构构件内力组合的设计值，包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等；

γ_G ——重力荷载分项系数，一般情况应采用 1.2，当重力荷载效应对构件承载能力有利时，不应大于 1.0；

γ_{Eh} 、 γ_{Gv} ——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按表 10.3.1 采用；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；

S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数。

表 10.3.1 地震作用分项系数

地震作用	γ_{Eh}	γ_{Ev}
仅计算水平地震作用	1.3	0.0
仅计算竖向地震作用	0.0	1.3
同时计算水平与竖向地震作用（水平地震为主）	1.3	0.5
同时计算水平与竖向地震作用（竖向地震为主）	0.5	1.3

10.3.2 结构构件的截面抗震验算，应采用下列设计表达式：

$$S \leq R / \gamma_{RE} \quad (10.3.2-1)$$

式中： γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，除另有规定外，应按表 10.3.2 采用；

R——结构构件承载力设计值。

表 10.3.2 承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	γ_{RE}
钢	柱, 梁, 支撑, 节点板件, 螺栓, 焊缝 柱、支撑	强度	0.75
		稳定	0.80
混凝土	梁 轴压比小于 0.15 的柱 轴压比不小于 0.15 的柱 各类构件	受弯	0.75
		偏压	0.75
		偏压	0.80
		受剪、偏拉	0.85

10.3.3 当仅计算竖向地震作用时, 各类结构构件承载力抗震调整系数均采用 1.0。

10.3.4 重力荷载的代表值应取为结构和构件自重及水、土压力的标准值, 以及各可变荷载的组合值之和, 组合值系数应按表 10.3.4 的规定执行。

表 10.3.4 组合值系数

序号	荷载分类		荷载名称	组合值系数
1	永久荷载		结构自重	1.0
2			结构附加恒载	1.0
3			围岩压力	1.0
4			土压力	1.0
5			水压力	1.0
6			水浮力	1.0
7			混凝土收缩和徐变的影响力	1.0
8	可变荷载	基本可变荷载	公路车辆荷载, 人群荷载	1.0
9			立交的公路车辆荷载及其产生的冲击力、土压力	不计入
10			立交的铁路列车荷载及其产生的冲击力、土压力	不计入
11			雪荷载	1.0
12		其他可变荷载	立交渡槽流水压力	不计入
13			制动力	不计入
14			温度变化影响力	不计入
15			冻胀力	不计入
16			施工荷载	不计入
17		偶然荷载	落石冲击力	不计入

10.4 抗震变形验算

10.4.1 矩形刚架式棚洞应采用层间位移角作为指标, 在 E1 地震作用下应按弹性抗震设计, 钢筋混凝土结构层间位移角限值宜取 1/550, 在 E2 地震作用下应按延性抗震设计, 钢筋混凝土结构层间位移角限值宜取 1/30。

10.4.2 梁式棚洞应对外边墙（或柱、刚架）的顶部位移进行验算, 确保顶梁的稳定。

10.5 抗震措施

10.5.1 当棚洞采用预制 T 形顶梁或 H 形梁结构时, 应采用与梁翼等宽的垂樨嵌固于内边墙钢筋混凝

土顶帽凹槽内；如就地灌注的顶梁，应用钢筋与内边墙顶帽作柔性连接。

10.5.2 内边墙钢筋混凝土顶帽宜用锚杆锚固于边坡基岩中；已成路堑内边墙墙后修建空腹结构物时，宜将锚杆通过空腹结构物锚固于边坡基岩中。

10.5.3 边墙如采用浆砌片石圬工，应适当提高水泥砂浆等级，以增强砌抗震性能。

10.5.4 对于刚架式棚洞，当立柱基底埋深在路基面以下大于 3m 时，须设置钢筋混凝土纵撑和横撑；超过 10m 时，应另行验算。

10.5.5 设计基本地震动峰值加速度大于或等于 0.2g 的地区，不宜采用悬壁式棚洞，宜采用封闭式结构。当采用钢筋混凝土框架结构时，梁、板、柱的配筋方式、截面尺寸和轴压比，纵向受力钢筋最小配筋率、锚固长度和搭接长度，箍筋的最小直径、最大间距和加密区长度，墙体的厚度及竖向和横向分布钢筋的最小配筋率和布置方式，以及带有孔洞时结构的构造等抗震构造措施，可参照抗震等级为二级的地面框架和板柱-抗震墙钢筋混凝土框架结构确定。顶、底板宜采用梁板结构。采用无柱帽平板时，宜在柱上板带中设构造暗梁。暗梁的构造要求与同类地面结构相同。

10.5.6 设计基本地震动峰值加速度大于或等于 0.2g 的地区，施工缝、变形缝应采取加设短钢筋或设置榫头等抗震连接措施。

10.5.7 装配式结构宜采取加强结构横向连接等提高结构整体性的构造措施。在伸缩缝处宜采取加大支撑距离，设置限位装置和连梁装置等防落梁措施。

10.5.8 位于地震区的公路棚洞应按表 10.5.8 采取防落梁装置及抗震措施。防止落梁措施应满足下列要求：

- 1 具备适当的强度及变形能力；
- 2 不影响其他构件的正常使用及维护；
- 3 正常使用时，对梁端转角及位移不产生附加约束；
- 4 构造简单，便于更换。

表 10.5.8 防落梁装置及抗震措施

设防烈度	7 度	8 度	9 度
防落梁装置及抗震措施	1. 梁体应设置横向支挡 2. 在支挡结构与梁体间宜设置缓冲材料。 3. 立柱与基础连接、截面突变、施工缝等部位应采取提高抗剪能力的措施	除满足 7 度要求外，尚应满足下列要求： 1. 纵梁顶面宜适当加宽。 2. 梁体应设置横向支挡 3. 加强梁体之间的纵向连接	除满足 8 度要求外，尚应满足下列要求： 1. 顶梁应采用纵向连接可靠、整体性能良好的结构形式。 2. 顶梁结构应采用竖向限位措施。

10.5.9 棚洞穿越地震时岸坡可能滑动的古河道或可能发生明显不均匀深陷的软土地带时，应采取更换

软弱土或设置桩基础等措施。

10.6 引入新技术

棚洞设计过程中，宜尝试引入、采用新型的抗震、消能技术。

11 不良地质地段棚洞设计

11.1 滑坡地层

11.1.1 滑坡地段棚洞设计，应查明滑坡性质及滑坡体附近的地形地貌、水文地质和工程地质情况，以及滑坡的成因类型、滑坡规模与特征等，分析评价滑坡稳定状况、发展趋势和对棚洞工程的危害程度，及时采取有效措施，保证棚洞施工和运营安全。

11.1.2 当棚洞通过滑坡地层时，应根据滑坡现状采用相应的排水、减载与反压、支挡、土体加固等工程措施，对滑坡和棚洞进行综合防治设计。

11.1.3 滑坡对棚洞的稳定性存在影响时，需在滑坡治理工程完成后，方可进行棚洞施工。

11.1.4 滑坡地层棚洞施工前，应先完成滑坡体与棚洞的截排水工程。

11.1.5 当棚洞通过滑坡地层时，应能防止和避免因施工和运营中人为因素而导致古滑坡体的发展。

11.1.6 施工中应对滑坡体与棚洞结构进行监测，并根据监测信息及时调整设计方案。

11.1.7 滑坡治理工程宜在旱季施工，并注意施工方法，避免引起滑坡的发展。

11.1.8 滑坡稳定性分析

1 滑坡稳定性评价

滑坡稳定性应采用工程地质类比法和力学计算进行综合评价。验算时，高速公路、一级公路安全系数应采用 1.20~1.30；二级及二级以下公路安全系数应采用 1.15~1.20；考虑地震力、多年暴雨的附加作用影响时，安全系数可适当折减 0.05~0.1。

2 滑坡稳定性计算方法

1) 计算滑坡推力时的荷载：滑体重力、滑坡体上建筑物产生的附加荷载、地下水产生的荷载（包括静水压力和动水压力）、动荷载（如汽车荷载）等永久荷载，以及地震水平作用力、作用在滑体上的施工临时荷载。

2) 滑坡剩余下滑力可采用传递系数法，按式（11.1.8-1）计算，条块作用力系如图 11.1.8 所示。

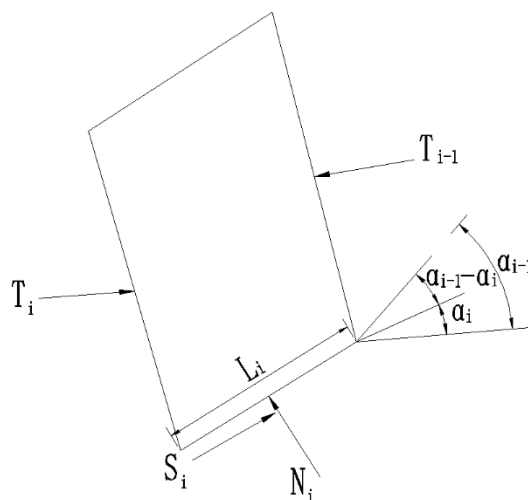


图 11.1.8 剩余下滑力计算图示

S_i —抗滑反力 N_i —法向反力

$$T_i = F_s W_i \sin \alpha_i + \psi_i T_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i - c_i L_i \quad (11.1.8-1)$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \quad (11.1.8-2)$$

当 $T_i < 0$ 时，应取 $T_i = 0$ 。

式中： T_i 、 T_{i-1} —第*i*和第*i-1*滑块剩余下滑力（kN/m）；

F_s —稳定系数；

W_i —第*i*滑块的自重力（kN/m）；

α_i 、 α_{i-1} —第*i*和第*i-1*滑块对应滑面的倾角（°）；

φ_i —第*i*滑块滑面内摩擦角（°）；

c_i —第*i*滑块滑面岩土粘聚力（kN/m）；

L_i —第*i*滑块滑面长度（m）；

ψ_i —传递系数。

3) 当滑坡体最后一个条块的剩余下滑力小于或等于 0 时，滑坡稳定。大于 0 时，滑坡不稳定，此时最后一个条块的剩余下滑力 T_i 可作为棚洞内墙所承受的推力。滑坡稳定性分析所得的稳定系数不得小于本条第 1 款的抗滑稳定安全系数的规定。

3 参数取值

滑面岩土抗剪强度取值，可根据滑面岩土室内试验资料、极限平衡反算值、工程地质类比经验数据，结合滑坡可能出现的最不利情况进行分析确定。必要时可由现场试验资料进行确定。

11.2 岩溶地层

11.2.1 棚洞通过岩溶地层时，应查明岩溶区地表及地下岩溶地貌分布范围和类型，岩层的完整稳定程度、填充物和地下水的情况，并根据具体情况采用相应的工程措施对其进行综合治理。

11.2.2 加强施工监测设计，并根据监测信息及时调整治理方案。

11.3 采空区

11.3.1 棚洞勘察设计阶段应收集采空区分布范围资料，棚洞段路线宜避开采空区。如路线难以绕避采空区时，应以最短的距离通过，并根据采空区的实际高程、分布情况和采空区的大小，制订切实可行、经济合理的治理方案。

11.3.2 采空区棚洞宜采用简支梁式结构。内外墙基础不宜设在基底下沉量大、持力层不稳定及移动盆地边缘，宜设在覆岩强度较高、地基稳定性较好的位置。

11.3.3 施工过程中应加强对结构变形的监测。

11.4 膨胀性围岩

11.4.1 膨胀性围岩棚洞设计，应查明膨胀性围岩分布范围、成因类型、围岩的结构层次、地下水分布及埋藏条件和膨胀性围岩的矿物成分、物理、力学性质及膨胀特性等资料。

11.4.2 膨胀性围岩区棚洞底部宜采用仰拱形结构，侧墙外回填宜采用非膨胀土回填。棚洞结构土压力计算时，应根据试验数据或当地经验确定土体膨胀后抗剪强度衰减的影响，并应计算水平膨胀力的作用。棚洞设计应符合下列构造要求：

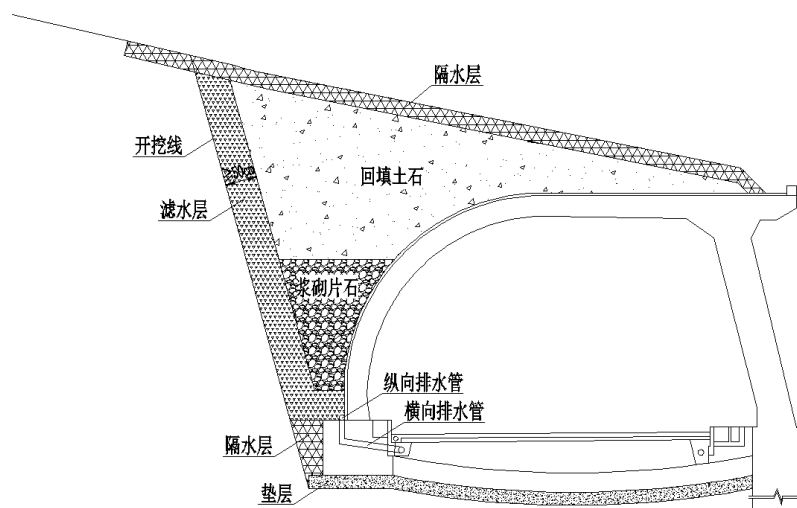


图 11.4.2 膨胀性围岩棚洞构造示意图

- 1 墙背碎石或砂卵石滤水层的宽度不应小于 50cm。滤水选用非膨胀性土回填，并应分层压实；
- 2 棚洞顶地面应设隔水层，并向开挖坡口线外延伸长度不宜小于 2m；
- 3 棚洞内墙应设泄水孔，间距不应大于 3m，坡度不应小于 5%，墙背泄水孔口下方应设置隔水层，厚度不应小于 30cm。

11.4.3 内外墙基底对膨胀性岩土应采取换填、注浆、土性改良、砂石或灰土垫层等方式进行处治。

11.4.4 棚洞应设置完善的排水系统，及时引排棚洞工程范围内的地面水和地下水。

11.4.5 棚洞施工期间须对边坡及底部进行防水和排水，基底不得被水浸泡。

11.4.6 施工过程中应加强对底鼓现象的监测。

11.5 泥石流区

11.5.1 泥石流地区棚洞设计，应查明泥石流的成因类型、规模、特征、活动规律、发展趋势及危害程度，分析灾害链，与灾害防治体系统一。

11.5.2 泥石流治理应选取排导、拦截以及水土保持等各项措施，总体规划、综合治理。

11.5.3 泥石流区棚洞设计的防治措施

1 采用棚洞穿越泥石流时，棚洞主体结构应置于泥石流活动体下方，水平土压力计算时需考虑泥石流剩余下滑力的影响，顶板竖向土压力计算时需考虑不能及时清除的淤积体影响。

2 在棚洞顶部采取排导措施疏导泥石流

1) 排导沟

排导沟适用于有排沙的地形条件的路段。出口应与主河道衔接，出口标高应高出主河道 20 年一遇的洪水水位。排导沟纵坡宜与地面坡一致。排导沟的横断面应根据流量计算确定，排导沟应进行防护。

2) 渡槽

渡槽适用于排泄流量小于 $30\text{m}^3/\text{s}$ 的泥石流，且地形条件应能满足渡槽设计纵坡及行车净空要求，路基下方有停淤场地。渡槽应与原沟顺直平滑衔接，纵坡不小于原沟纵坡，出口应满足排泄泥石流的需要。渡槽设计荷载按泥石流满载计算，冲击力冲击系数可取 1.3。

3) 导流堤

当在堆积扇的某一区间内，需要控制泥石流的走向或限制其影响范围时，可设置导流堤以防止泥石流直接冲击棚洞。导流堤的高度应为设计使用年限内的淤积厚度与泥石流的沟深之和；在泥石流可能受阻的地方或弯道处，还应加上冲起高度和弯道高度。

3 拦截措施

1) 拦挡坝

拦挡坝适用于沟谷的中上游或下游没有排沙或停淤的地形条件，必须控制上游产砂的河道；以及流域来沙量大，沟内崩塌、滑坡较多的河段。拦挡坝坝体位置应根据设坝目的，结合沟谷地形及基础的地质条件综合确定，并注意坝的两端与岸坡的衔接和基础埋置深度。坝体的最大高度不宜超过 5m，坝顶宜采用平顶式。当两端岸坡有冲刷可能时，宜采用凹形。

2) 格栅坝

格栅坝适用于拦截流量较小、大石块含量少的小型泥石流。格栅坝的格栅间隔按拦截大石块、排除细颗粒的要求布置，其过水断面应满足下游安全泄洪的要求。坝的宽度应与沟槽同宽。坝基应设在坚实的地基上。

12 辅助工程措施与动态设计

12.1 辅助工程措施

- 12.1.1 当棚洞通过严重偏压、岩溶流泥地段、砂土层、砂卵（砾）石层、回填土、自稳性差的软弱破碎地层、断层破碎带以及大面积淋水或涌水地段时，应采用辅助工程措施。
- 12.1.2 棚洞常用辅助工程措施按其功能和效果，可分为地层稳定措施和涌水处理措施，地层稳定措施又可分为地层支护措施与地层加固措施，涌水处理措施又可分为排水措施与注浆止水措施。具体有地表砂浆锚杆、地表注浆加固、护拱、井点降水、深井排水等。
- 12.1.3 棚洞设计可根据不同的地质条件、环境条件和施工条件采用相应的辅助工程措施。

12.2 动态设计

- 12.2.1 在棚洞施工过程中，应进行动态设计与信息化施工，及时对开挖面进行地质核对。地质条件复杂的棚洞，应根据相关地质信息对相应地段的施工开挖方法以及支护参数进行调整。已完成开挖的地段必须进行监控量测，据此来判断棚洞工程施工对地表环境的影响范围和程度，评价棚洞结构的稳定性及其工作状态，以确保施工安全，为棚洞动态设计提供依支撑。
- 12.2.2 动态设计应根据施工过程中反馈的各种信息，包括监控量测数据、开挖揭露的地质条件等，通过分析评价所获得信息，并与预设计时的地质资料相对比，确定地质变化情况，对棚洞施工方法（包括特殊的、辅助的施工方法）、边坡开挖及防护参数等进行相应的合理调整。
- 12.2.3 棚洞工程监控量测的主要内容包括棚洞结构内力及位移监测、边坡稳定性监测和边坡与结构之间相互作用力监测。
- 12.2.4 在棚洞施工时，必须进行必测项目的量测。必测项目应符合表 12.2.4。

表 12.2.4 棚洞现场监控量测必测项目

编号	项目名称	方法及工具	布 置	测试精度	测 试 时 间			
					1~15 天	16 天~1 个月	1~3 个月	3 个月以上
1	地质及支护状态观察	现场观测、地质罗盘等	边坡开挖后及支护后进行，断面设置间距 5~15 米。		每次开挖及边坡支护后			
2	边坡顶部位移	水准测量的方法，水准仪等	边坡开挖后进行，断面设置间距 5~15 米。	0.1mm	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
3	结构变形（含顶板、侧墙或柱）	高精度全站仪、水平仪、水准尺、钢尺或测杆、收敛计等	每 5~15 米一个断面，每个断面 3~12 个测点。	0.1mm	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月

- 12.2.5 应根据设计要求、棚洞断面形状和大小、地质条件、周边环境、施工方法等综合选择选测项目。选测项目应符合表 12.2.5。典型断面测点布置如图 12.2.5-1 和图 12.2.5-2 所示。

表 12.2.5 棚洞现场监控量测选测项目

编号	项目名称	方法及工具	布 置		测 试 时 间
----	------	-------	-----	--	---------

				测试精度	1~15 天	16 天~1 个月	1~3 个月	3 个月以上
1	边坡岩体内部位移	洞内钻孔中安设单点、多点杆式或钢丝式位移计	每代表性地段 1~2 个断面，每断面 3~7 个钻孔	0.1mm	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
2	锚杆（索）轴力	钢筋计、锚杆测力计	每代表性地段 1~2 个断面，每断面 3~7 根锚杆（索），每根 2~4 个测点	0.01MPa	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
3	接触应力	压力盒	每代表性地段 1~2 个断面，每断面 3~7 个测点	0.01MPa	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
4	钢筋应力	应变计、钢筋计	每代表性地段 1~2 个断面，每断面 3~7 个测点	0.01MPa	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
5	混凝土应力	各类混凝土内应变计及表面应力解除法	每代表性地段 1~2 个断面，每断面 3~7 个测点	0.01MPa	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月
6	爆破震动监测	测震及配套传感器	临近建（构）筑物	-	随爆破进行			
7	渗水压力、水流量	渗压计、流量计		0.01MPa	-			

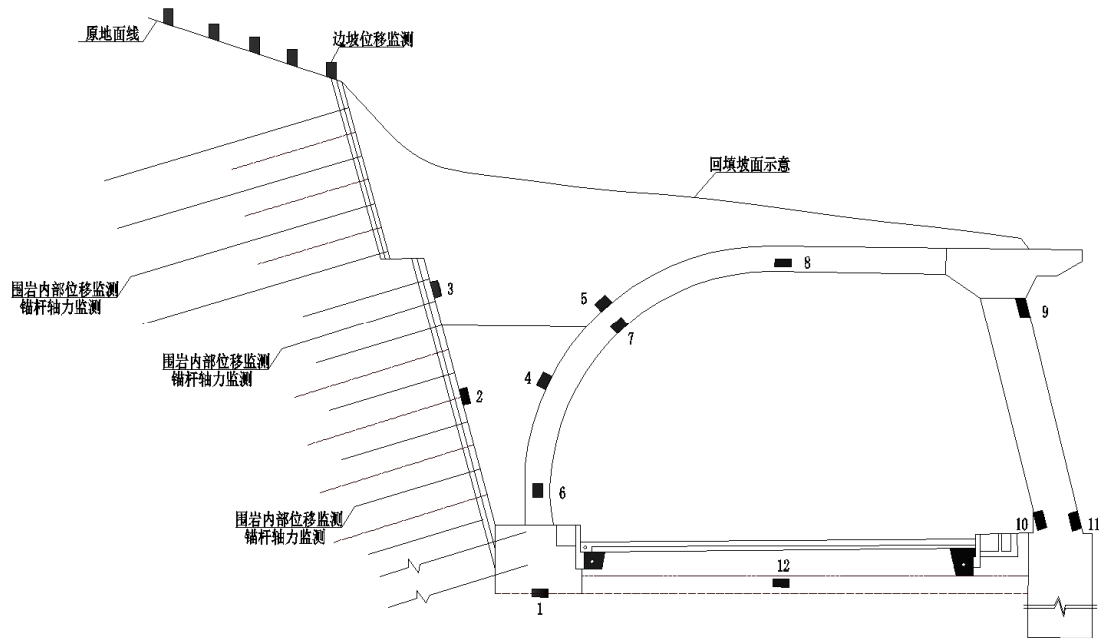


图 12.2.5-1 单幅棚洞断面测点布置图

图中 1~5 处埋压力盒，6~8、12 处埋设应变计，9~11 处埋设应变计或钢筋计

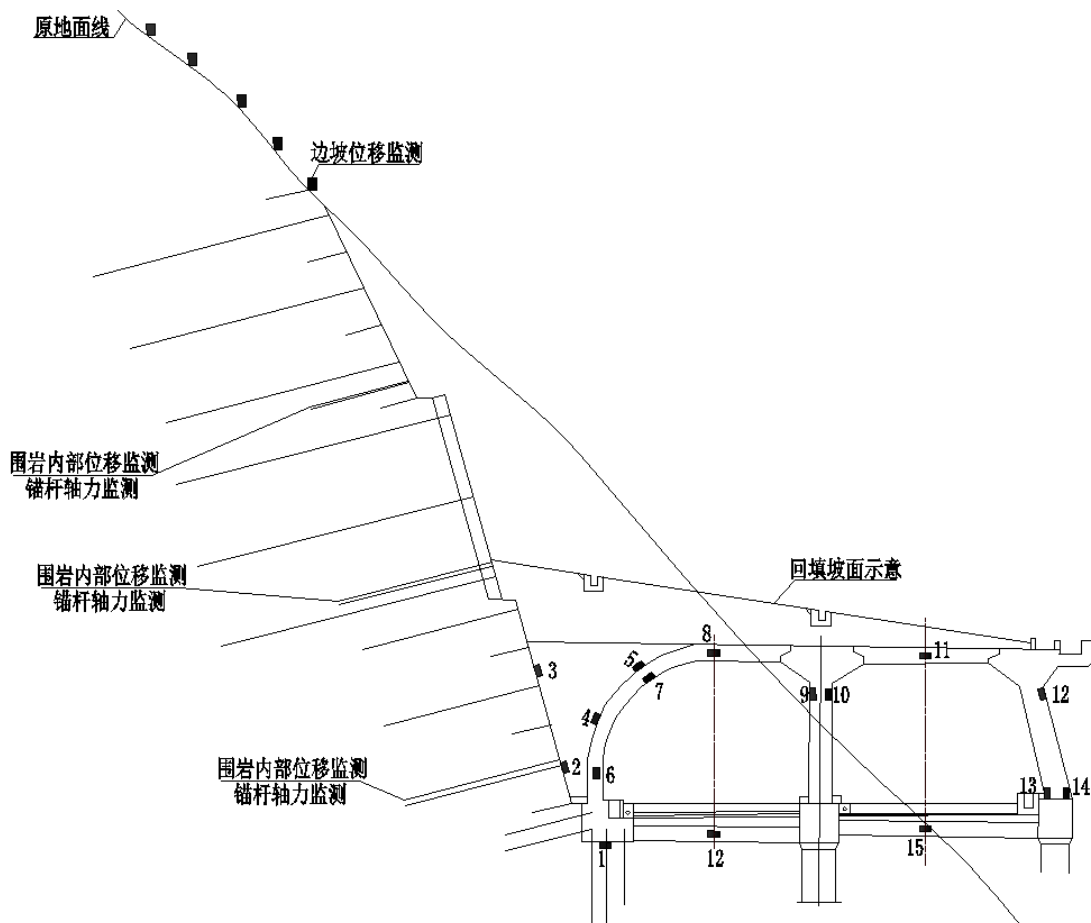


图 12.2.5-2 双幅棚洞断面测点布置图

图中 1~5 处理压力盒，6~8、11、12、15 处理设应变计，9、10、13、14 处理设应变计或钢筋计

12.2.6 监测预警值是监控量测工作实施前，为确保监测对象安全而设定的各项监控量测指标的预估最大值，在监控量测过程中，一旦量测数据超过预警值，监控量测部门应在报表中醒目注明，及时报警。

12.2.7 量测数据应按要求进行整理、分析与反馈。每次量测后应及时进行数据整理及数据分析。监控量测数据分析一般采用散点图和回归分析方法，后者是目前量测数据处理的主要方法，通过对量测数据回归分析可以预测最终位移值和各阶段的位移变化速率。常用以下函数作为回归函数：

1 对数函数： $u = A + B \ln(1+t)$; $u = \ln \frac{B+T}{B+t_0}$;

2 指数函数： $u = Ae^{-B/t}$; $u = A(e^{-Bt_0} - e^{-BT})$;

3 双曲函数： $u = \frac{t}{A+Bt}$; $u = A \left[\left(\frac{1}{1+Bt_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{1+Bt} \right)^2 \right]$ 。

式中： u ——位移值 (mm); A 、 B ——回归系数; t ——量测时间 (d); t_0 ——测点初读数时的时间 (d); T ——量测时的时间 (d)。

13 防水与排水

13.1 一般规定

13.1.1 棚洞防排水应遵循“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理”的原则，保证棚洞结构和营运设备的正常使用和行车安全。棚洞防排水设计应对地表水、地下水妥善处理，洞内外应形成一个完整、通畅、便于维修的防排水系统。

13.1.2 高速公路、一级公路、二级公路棚洞防排水应满足下列要求：

- 1 拱部、边墙、路面、设备箱洞不渗水；
- 2 有冻害地段的棚洞结构背后不积水、排水沟不冻结。

13.1.3 三级公路、四级公路棚洞防排水应满足下列要求：

- 1 拱部、边墙不滴水，路面不积水，设备箱洞不渗水；
- 2 有冻害地段的棚洞结构背后不积水，排水沟不冻结。

13.1.4 棚洞防排水工程措施，应注意保护自然环境。当棚洞渗漏水引起地表水减少，影响居民生产、生活用水时，应对围岩采取堵水措施，减少地下水的渗漏。

13.1.5 棚洞防排水要求如下：

- 1 边仰坡坡顶应设置必要的截排水系统；
- 2 回填土表面宜铺设粘土隔水层，并与边坡搭接良好；
- 3 靠山侧边墙底宜设纵向和竖向盲沟，将水引至边墙泄水孔排出；
- 4 衬砌外缘应敷设外贴式防水层。

13.2 防水

13.2.1 棚洞结构外侧应铺设无纺布和防水板，要求如下：

1 无纺布应符合如下规定：纵横向抗拉强度 $\geq 700\text{N}/50\text{mm}$ ，纵横向伸长率 $\geq 50\%$ ，密度应大于 $300\text{g}/\text{m}^2$ ；

2 防水板应符合如下规定：幅宽宜为 $2\sim 4\text{m}$ ，厚度不得小于 1.2mm ，应具有良好的耐穿刺性、耐久性、耐水性、耐腐蚀性、耐菌性。

13.2.2 棚洞主体结构混凝土应采用防水混凝土，其防渗等级不得小于 P8。

13.2.3 棚洞主体结构宜少设施工缝、变形缝，如须设置，应采取可靠的防水措施。

13.2.4 有侵蚀性地下水时，应针对侵蚀类型，按照《混凝土结构耐久性设计标准》（GB/T 50476）中规定的环境类别及作用等级，采用抗侵蚀混凝土，压注抗侵蚀浆液，或铺设抗侵蚀防水层。抗侵蚀混凝土应根据地下水所含侵蚀介质及侵蚀类型，选择相应的抗侵蚀水泥品种。当地下水含侵蚀介质浓度大时，宜采用特种水泥作为防蚀层。此外，可通过提高混凝土的密实度加强混凝土的抗渗和抗蚀能力。

13.2.5 围岩破碎、涌水易坍塌地段，可采用围岩内预注浆处理。

13.2.6 棚洞结构防水应符合现行《地下工程防水技术规范》（GB 50108）相关规定。棚洞主体结构防

水层、施工缝防水及变形缝防水构造形式，见图 13.2.6-1~13.2.6-3。

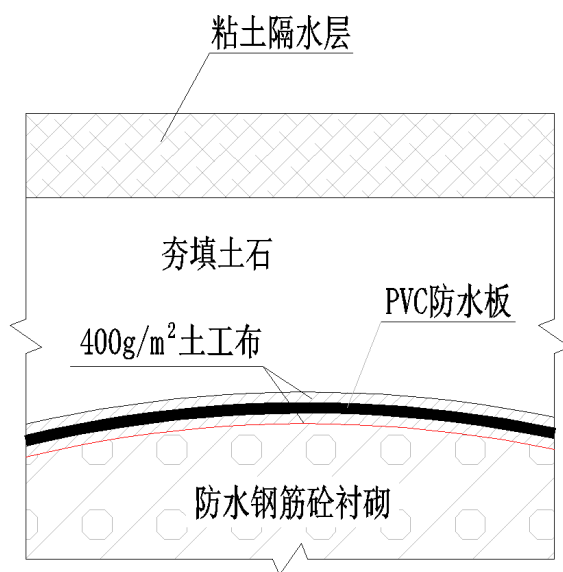


图 13.2.6-1 棚洞主体结构防水层大样图

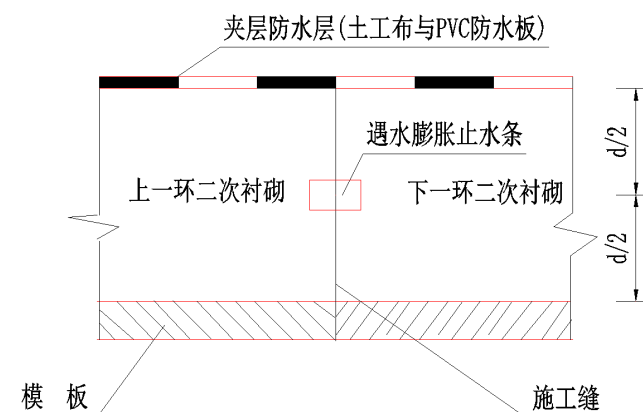


图 13.2.6-2 施工缝防水大样

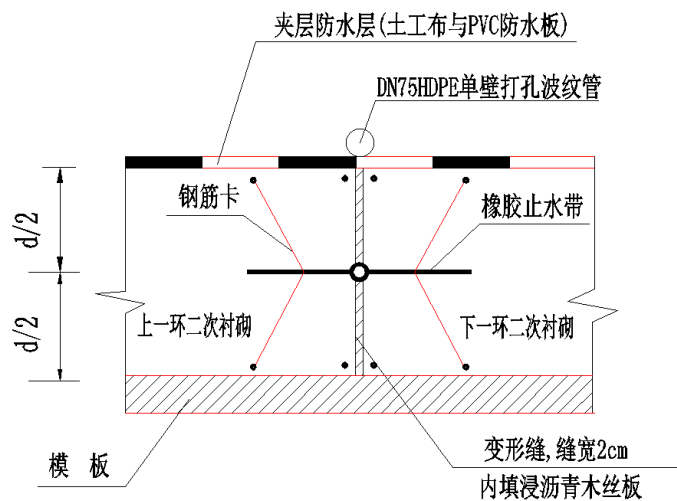


图 13.2.6-3 变形缝防水大样

13.3 排水

13.3.1 棚洞内应设置完善的纵横向排水沟管，保证排水畅通，避免洞内积水，排水系统宜具有方便的维修疏通设施。

13.3.2 棚洞内排水应符合下列规定：

- 1 路面两侧应设纵向排水沟，引排营运清洗水、消防水和其他废水；
- 2 棚洞纵向排水坡宜与棚洞纵坡一致；
- 3 路侧边沟可设置为开口式明沟或暗沟。当边沟为暗沟时，应设沉砂池、滤水篦，其间距宜为 25～30m。

13.3.3 路面结构底部排水设施应符合下列规定：

- 1 路面结构下宜设纵横向盲沟，集中引排地下水；
- 2 盲沟断面积应根据棚洞长度、纵坡、地下水渗流量，通过水力计算确定；
- 3 横向盲沟的当量直径不宜小于 100mm，横向坡度不应小于 1.5%，其纵向间距应根据地下水量确定，一般可按 5～15m 设置；
- 4 路面底部应设不小于 1.5%的横向排水坡度。

13.3.4 棚洞衬砌外排水设置应符合下列规定：

- 1 在衬砌靠山侧边墙背后底部应设纵向排水盲管（沟），其孔径不应小于 80mm；
- 2 沿衬砌背后环向应设置导水盲管，其纵向间距不应大于 20m，遇水量较大时，环向盲管应加密。环向盲管的直径不应小于 50mm；
- 3 环向盲管应与边墙底部的纵向排水盲管（沟）连通；纵向排水盲管（沟）应与横向导水管连通，以形成完整的纵横向排水系统。环向盲管、纵向排水盲管应用无纺布包裹。

13.3.5 边仰坡应采取防护措施，防止地表水的下渗和冲刷。

13.3.6 为防止洞外水流入棚洞内，可在洞口外设置反向排水边沟或采取截流措施。

14 地基、路基与路面

14.1 一般规定

- 14.1.1 棚洞的基础必须设置于稳固的地基上。
- 14.1.2 棚洞路基应稳定、密实、匀质，为路面结构提供均匀的支撑。
- 14.1.3 棚洞路面应具有足够的强度和平整、耐久、抗滑、耐磨等性能。

14.2 地基与基础

- 14.2.1 设计过程中须对其基础的整体承载力、及局部不利（受荷较大）构件部位基础承载力分别计算确定。
- 14.2.2 当基础不能满足承载力要求时，应根据具体情况，采用换填、扩大基础或桩基、基底土加固改良等措施。

14.3 路基

- 14.3.1 当棚洞衬砌设置底板或仰拱时，底板或仰拱的填充材料和填充要求应符合现行《公路隧道设计标准》（JTG 3370.1）的相关规定；不设底板或仰拱的棚洞，其路基应置于稳定的石质地基上。
- 14.3.2 棚洞内路基宜设完整的路面下盲沟排水系统。对不设底板或仰拱的棚洞，当路面上面层采用沥青面层铺装时，其排水系统应使地下水位不高于路基顶面以下 30cm。

14.4 路面

- 14.4.1 各级公路棚洞可采用水泥混凝土路面。有条件时，宜采用沥青混合料上面层与水泥混凝土下面层组成的复合式路面。

15 棚洞内机电设施

15.1 照明

15.1.1 照明设置

- 1 对于与隧道相连的棚洞，其照明与隧道统筹设计；
- 2 对于高速公路、一级公路路段，长度大于 200m 的（独立）棚洞，应设置照明；
- 3 对于二级公路路段，长度大于 500m 的（独立）棚洞，宜设置照明；三、四级公路路段的（独立）棚洞，根据实际情况确定是否设置照明；
- 4 有人行需求的棚洞，应根据棚洞长度、环境条件等情况综合分析，设置满足人通行要求的照明设施。

15.1.2 棚洞的照明设计应根据棚洞的结构型式及开阔程度、其所在位置、地形和所处地貌、植被等情况确定各基本参数取值，进行计算；并综合交通量变化、洞外亮度变化、季节交替等多种工况制订调光及运营管理方案。

15.2 通风

棚洞为开窗的隧道结构，可不进行通风设计。

15.3 消防

15.3.1 对于与隧道相连的棚洞，其消防设计与隧道统筹考虑；棚洞消防按以防为主，防消结合的原则设计，一旦发生火灾，要尽可能把火灾限制在最小范围内。

15.3.2 消防设施由灭火器、消火栓系统、消防器材和消防车以及与当地消防单位联网，构成多层次灭火体系。

15.3.3 棚洞消防，须根据《公路隧道设计标准》（第二册 交通工程与附属设施）并参照现行《建筑设计防火规范》相关要求，按其长度及路段交通量大小确定消防系统设置规模、防火等级、灭火器和水消防系统的配置。

16 棚洞内安全设施

16.1 一般规定

16.1.1 棚洞内安全设施设计内容包括交通标志、交通标线和轮廓标等。

16.1.2 安全设施设计应坚持“安全、环保、舒适、和谐”的理念，注重公路出行的安全性、方便性、舒适性、愉悦性，体现“以人为本、安全至上”的指导思想。

16.1.3 棚洞内任何安全设施的设置不得侵入棚洞建筑限界。

16.1.4 棚洞内安全设施应结合路网与公路条件、交通条件、环境条件进行总体设计。同一条公路采用的交通安全设施设置原则和设计方案宜保持一致。交通安全设施之间、交通安全设施与公路主体工程和其他设施之间应互相协调、配合使用。

16.1.5 棚洞内安全设施设计应符合国家现行的有关标准、规范。

16.2 标志

16.2.1 消防设备指示标志

- 1 消防设备指示标志用于指示棚洞内消防设备位置；
- 2 消防设备指示标志宜采用电光标志，照明方式宜为内部照明，双面显示；
- 3 消防设备指示标志应设置于消火栓上方，安装高度净空应不小于 2.5m。

16.2.2 疏散指示标志

1 疏散指示标志用于指示该点与洞口的距离与方向，在棚洞发生紧急情况时，指示行人、车辆迅速离开；

- 2 疏散指示标志宜采用电光标志，照明方式宜为内部照明，单面显示；
- 3 疏散指示标志应设置于棚洞侧墙上，安装高度净空应不大于 1.3m，间距应不大于 50m。

16.2.3 标志的版面应符合《公路隧道设计标准 第二册 交通工程与附属设施》（JTG 3370.1/2-2014）的有关规定。

16.3 标线与轮廓标

16.3.1 道路标线

- 1 棚洞内标线为纵向指示类标线；
- 2 洞口交叉道应进行渠化；
- 3 标线涂料宜采用热熔型反光涂料。

16.3.2 突起路标

- 1 棚洞的车行道分界线和车道边缘线上宜设置突起路标；
- 2 突起路标用于加强路面标线的视觉效果，与标线配合使用时，应选用主动发光型或定向反光型，布设间距 6~16m；
- 3 突起路标单独用作车行道分界线时，布设间距宜为 1~1.2m，并使突起路标表面具有足够的抗滑性能；
- 4 除有特殊要求外，突起路标的设置高度宜高出路面 10~25mm。

16.3.3 轮廓标

- 1 轮廓标用以指示道路的方向、行车道的边界；
- 2 棚洞内应设置轮廓标。轮廓标逆反射材料应采用反射器或反光膜，其中反射器有微棱镜型和玻璃珠型两种类型；
- 3 轮廓标可选用电光标志。电光标志宜采用两面显示，宜采用 LED 发光灯，防护等级应达到 IP65；
- 4 轮廓标宜安装在棚洞壁和立柱上，安装中心位置与路面边缘高差宜为 70cm，反射器颜色左侧宜采用黄色，右侧宜采用白色，布设间距宜为 6~20m。

17 棚洞内防护与装饰

17.0.1 棚洞承重结构体耐火极限不应低于表 17.0.1 的规定。

棚洞承重结构体的耐火极限低于表 17.0.1 规定的,应采取喷涂防火涂料或防火材料、安装防火板等防火隔热措施。

表 17.0.1 棚洞承重结构体耐火极限要求

棚洞防火类型	一类	二类		三类	
棚洞长度 (m)	—	>3000	其它	>1000	其它
耐火极限 (h)	2.00	2.00	1.50	1.50	1.00

17.0.2 棚洞内壁设置装饰的目的,可归纳为以下几点:

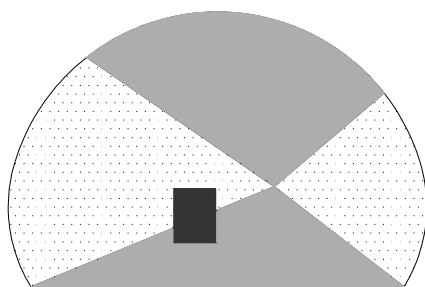
- 1 提高照明效果、保持棚洞内良好的视觉环境;
- 2 统一和美化棚洞墙面;
- 3 吸收棚洞内的噪音;
- 4 满足棚洞防火的要求。

17.0.3 棚洞内壁装饰应结合棚洞位置、使用要求进行,力求安全、经济、美观、实用,并符合下列规定:

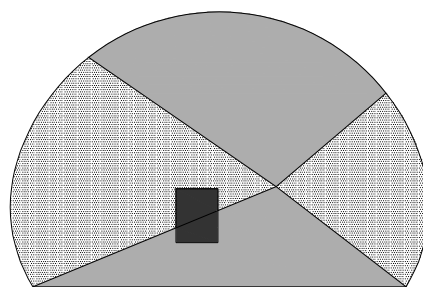
- 1 内壁装饰不得侵入建筑限界;
- 2 内壁装饰材料应具有无毒、耐腐蚀、吸水膨胀率低、反光率高、便于清洗、耐磨和耐用等特点,应具有良好的耐高温和耐火性,并且在高温环境下不产生大量烟雾或有害气体并符合室外建筑材料相关规范的要求;
- 3 内壁装饰高度宜为路面以上 2.5~3.0m;
- 4 内壁装饰材料应来源广泛,价格相对便宜。

17.0.4 棚洞内壁装饰面板的一般要求:

- 1 装饰面板的设置厚度,应控制在 5cm 以内,安装空间应在净空断面设计;
 - 2 装饰面板的表面应光洁,色调明朗。装饰面板应具有良好的扩散反射率,反射率不得小于 60%。
- 反射效果的概念图如图 17.0.4 所示;



饰面明亮时,路面、墙面、吊顶部的辉度比值



无饰面或饰面阴暗时,路面、墙面、吊顶部

大，透视图形的边线明确，便于看清障碍物 辉度比值小、难以看清障碍物

图 17.0.4 反射效果概念图

3 装饰面板应具备一定的强度，以抵抗施工荷载和冲洗荷载。

17.0.5 常用的棚洞内壁装饰材料应符合表 17.0.5。

表 17.0.5 常用棚洞内壁装饰材料及其优缺点

材料 \ 优缺点	优点	缺点
块状混凝土	衬砌表面不需特殊处理	表面粗糙，易污染不易清洗，光线反射效果较差
饰面板、镶板等致密材料	不易污染、清洗效果好、板后空间有利于吸收噪音、光线反射效果好	要求衬砌平整
瓷砖	表面光滑易清洗、光线反射效果好	没有吸声降噪作用、要求衬砌平整
油漆	比混凝土易清洗	对衬砌表面要求很高，需压光、平整，浸湿的油漆损坏很快，没有吸声降噪作用
防火涂料	具有较好的耐高温和耐火性	表面粗糙，易污染不易清洗，光线反射效果差

附录 A 岩体与土体物理力学参数

A.0.1 各级围岩的基本物理力学参数, 应通过室内或现场试验获得。如无实测值时, 可按表 A.0.1 选用。

表 A.0.1 各级围岩基本物理力学参数值

围岩级别	亚级	围岩		容重 γ (kN/m ³)	变形模量 E (GPa)	泊松比 μ	内摩擦角 φ (°)	粘聚力 c (MPa)
I	—	岩质围岩		26~28	>33	<0.2	>60	>2.1
II	—	岩质围岩		25~27	20~33	0.2~0.25	50~60	1.5~2.1
III	III ₁	岩质围岩		24~25	10.7~20	0.25~0.26	44~50	1.1~1.5
	III ₂	岩质围岩		23~24	7~10.7	0.26~0.3	39~44	0.7~1.1
IV	IV ₁	岩质围岩		22~23	3.8~7	0.3~0.31	35~39	0.5~0.7
	IV ₂	岩质围岩		21~22	2.4~3.8	0.31~0.33	30~35	0.3~0.5
	IV ₃	岩质围岩		20~21	1.3~2.4	0.33~0.35	27~30	0.2~0.3
		土质围岩	粘质土	20~23	0.030~0.045	0.25~0.33	30~45	0.06~0.25
			砂质土	18~19	0.024~0.030	0.29~0.31	33~40	0.012~0.024
			碎石土	22~24	0.050~0.075	0.15~0.30	43~50	0.019~0.030
V	V ₁	岩质围岩		18~20	1.3~2	0.35~0.39	22~27	0.12~0.2
		土质围岩	粘质土	18~20	0.015~0.030	0.33~0.37	20~30	0.03~0.06
			砂质土	16.5~18	0.009~0.024	0.31~0.33	30~33	0.006~0.012
			碎石土	20~22	0.033~0.050	0.20~0.30	37~43	0.008~0.019
	V ₂	岩质围岩		17~18	1~1.3	0.39~0.45	20~22	0.05~0.12
		土质围岩	粘质土	16~18	0.005~0.015	0.37~0.43	15~20	0.015~0.030
			砂质土	15~16.5	0.003~0.009	0.33~0.36	25~30	0.003~0.006
			碎石土	17~20	0.010~0.033	0.25~0.35	30~37	<0.008
VI	—	岩质围岩		15~17	<1	0.4~0.5	<20	<0.2
		土质围岩	粘质土	14~16	<0.005	0.43~0.50	<15	<0.015
			砂质土	14~15	0.003~0.0005	0.36~0.42	10~25	<0.003

注：表中数字不适用于黄土、冻土以及膨胀性岩体等特殊地质地段的棚洞。

A.0.2 各级围岩的其他物理力学参数可按表 A.0.2 选用。

表 A.0.2 各级围岩的其他物理力学参数

围岩级别	亚级	围岩	弹性波速 v_p (km/s)	弹性抗力系数 k (MPa/m)	计算摩擦角 φ_c (°)	普氏坚固系数 f	圬工与围岩的 摩擦系数
I	—	岩质围岩	>4.5	1800~2800	>78	15~20	0.60~0.70
II	—	岩质围岩	3.5~4.5	1200~1800	70~78	8~15	0.55~0.65
III	III ₁	岩质围岩	3.2~4.0	850~1200	65~70	6~8	0.50~0.55
	III ₂	岩质围岩	2.5~3.2	500~850	60~65	3~6	0.45~0.50

IV	IV ₁	岩质围岩	2.5~3.0	400~500	57~60	2.3~3.0	0.42~0.45
	IV ₂	岩质围岩	2.0~2.5	300~400	54~57	1.7~2.3	0.38~0.42
	IV ₃	岩质围岩	1.5~2.0	200~300	50~54	1.0~1.7	0.35~0.38
		土质围岩	1.5~2.0	200~300	50~54	1.0~1.7	0.35~0.38
V	V ₁	岩质围岩	1.4~2.0	150~200	45~50	1.1~1.5	0.30~0.35
		土质围岩	1.4~2.0	150~200	45~50	1.1~1.5	0.30~0.35
	V ₂	岩质围岩	1.0~1.4	100~150	40~45	0.8~1.1	0.25~0.30
		土质围岩	1.0~1.4	100~150	40~45	0.8~1.1	0.25~0.30
VI	—	—	<1.0	<100	30~40	0.3~1.0	≤0.25

注：表中抗力系数一般可参考下列情况：

- 1) 洞径在 10m 以下时取高值，在 10m 以上时取低值；
- 2) 裂隙较为发育的取低值，较为完整的取高值；
- 3) 软质岩石取低值，硬质岩石取高值；
- 4) 地下水丰富的取低值，地下水不发育时取高值；
- 5) 浅埋傍山时取低值，深埋时取高值。

A. 0. 3 墙背填料的物理力学指标应根据试验资料确定。有经验时，也可按表 A. 0. 3 采用。

表 A.0.3 填料的物理力学指标

填料种类		综合内摩擦角 φ_0	内摩擦角 φ	重度 (kN/m ³)
细粒土 (有机土除外)	墙高 $H \leq 6m$	35°	—	18、19
	6m < 墙高 $H \leq 12m$	30° ~ 35°		
砂类土		—	35°	19、20
碎石类、砾石类土		—	40°	20、21
不易风化的块石类土		—	45°	21、22

- 注：1、计算水位以下填料重度采用浮重度；
- 2、填料的重度可根据填料性质和压实等情况作适当修正；
- 3、全风化岩石、特殊土的 φ 、c 宜根据试验资料确定。

A. 0. 4 各土层、岩性地层的基本物理力学参数, 应通过室内或现场试验获得。如无实测值时, 可按表 A. 0. 4 选用。

表 A.0.4 地层物理力学指标

地层种类	内摩擦角	弹性模量 E ₀ (kPa)	泊松比 μ	地基系数 K (kPa/m)	剪切应力 (kPa)
细粒花岗岩、正长石	80° 以上	5430~6900	0.25~0.30	2.0×10 ⁶ ~2.5×10 ⁶	1500 以上
辉绿岩、玢岩		6700~7870	0.28	2.5×10 ⁶	
中粒花岗岩		5430~6500	0.25	1.8×10 ⁶ ~2.0×10 ⁶	
粗粒正长岩、坚硬白云岩		6560~7000			
坚硬石灰岩	80°	4400~10000	0.25~0.30	1.2×10 ⁶ ~2.0×10 ⁶	1500
坚硬砂岩、大理岩		4660~5430			

粗粒花岗岩、花岗片麻岩		5430~6000			
较坚硬石灰岩	75° ~ 80°	4400~9000	0.25~ 0.30	$0.8 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^6$	1200~1400
较坚硬砂岩		4460~5000			
不坚硬花岗岩		5430~6000			
坚硬页岩	70° ~ 75°	2000~5500	0.15~ 0.30	$0.4 \times 10^6 \sim 0.8 \times 10^6$	700~1200
普通石灰岩		4400~8000	0.25~ 0.30		
普通砂岩		4600~5000	0.25~ 0.30		
坚硬灰泥岩	70°	800~1200	0.29~ 0.38	$0.3 \times 10^6 \sim 0.4 \times 10^6$	500~700
较坚硬页岩		1980~3600	0.25~ 0.30		
不坚硬石灰岩		4400~6000	0.25~ 0.30		
不坚硬砂岩		1000~2780	0.25~ 0.30		
较坚硬泥灰岩	65°	700~900	0.29~ 0.38	$0.2 \times 10^6 \sim 0.3 \times 10^6$	300~500
普通页岩		1900~3000	0.15~ 0.20		
软石灰岩		4400~5000	0.25		
不坚硬泥灰岩	45°	30~500	0.29~ 0.38	$0.06 \times 10^6 \sim 0.12 \times 10^6$	150~300
硬化黏土		10~300	0.30~ 0.37		
软片岩		500~700	0.15~ 0.18		
硬煤		50~300	0.30~ 0.40		
密实黏土	30° ~ 45°	10~300	0.30~ 0.37	$0.03 \times 10^6 \sim 0.06 \times 10^6$	100~150
普通煤		50~300	0.30~ 0.40		
胶结卵石		50~100	—		
掺石土		50~100	—		

附录 B 棚洞标准内轮廓

B.1 型式

棚洞型式及工况按表 B.1.1 归纳，并根据工况组合进行棚洞内轮廓标准横断面设计。

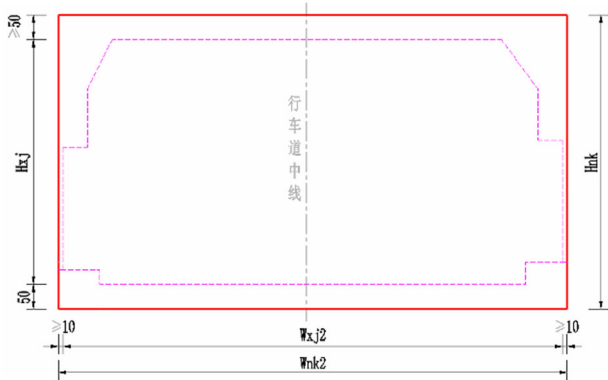
表 B.1.1 棚洞型式组合一览表

序号	结构型式	布置型式	车道数	设计速度	工况组合数	备注
	(式)	(型)	(车道)	(km/h)	(种)	
1	框架	I、II	两、三	120、100、80、60	21	设计速度为 80km/h 和 60km/h 均考虑高速、一级公路和二、三、四级公路的工况
2	拱形	I、II	两、三	120、100、80、60	21	
3	悬臂	I、II	两	80	2	其余工况较少见，不做标准化
4	双跨	I、II	两	80	2	

B.2 标准内轮廓

B.2.1 框架式棚洞：

1 I 型两车道棚洞建筑限界及内轮廓如图 B.2.1-1 所示（为右幅例、下同），几何尺寸参数应不小于表 B.2.1-1 所列值。



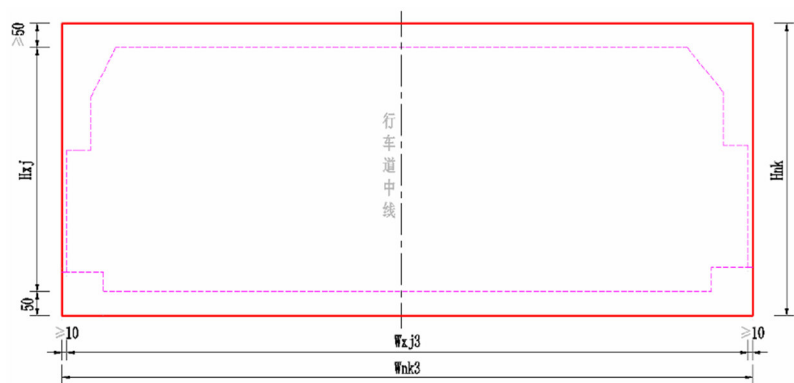
图B.2.1-1 框架式 I 型两车道棚洞内轮廓图

表B.2.1-1 框架式 I 型两车道棚洞建筑限界及内轮廓几何参数

公路等级	设计速度	限界		内轮廓	
	(km/h)	Hxj, m	Wxj, m	Hnk, m	Wnk, m
高速公路 一级公路	120	5.00	11.00	6.00	11.20
	100	5.00	10.50	6.00	10.70
	80	5.00	10.25	6.00	10.45
	60	5.00	9.75	6.00	9.95
二~四级公路	80	5.00	11.00	6.00	11.20
	60	5.00	10.00	6.00	10.20

备注：建筑限界高度均取 5.0m。

2 I 型三车道棚洞建筑限界及内轮廓如图 B.2.1-2 所示，几何尺寸参数应不小于表 B.2.1-2 所列值。



图B. 2. 1-2 框架式 I 型三车道棚洞内轮廓图

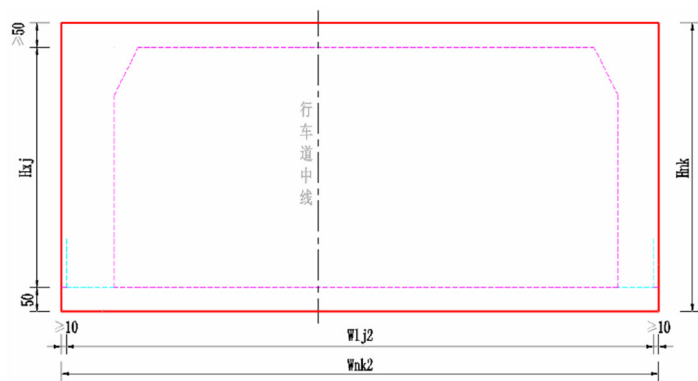
表B. 2. 1-2 框架式 I 型三车道棚洞建筑限界及内轮廓几何参数

公路等级	设计速度	限界		内轮廓	
	(km/h)	Hxj, m	Wxj, m	Hnk, m	Wnk, m
高速公路 一级公路	120	5.00	14.75	6.00	14.95
	100	5.00	14.25	6.00	14.45
	80	5.00	14.00	6.00	14.20
	60	5.00	13.50	6.00	13.70
二~四级公路	80	5.00	14.75	6.00	14.95
	60	5.00	13.75	6.00	13.95

备注：1、建筑限界高度均取 5.0m；

2、困难地段其中一个车道的宽度可减小 0.25m。

3 II 型两车道棚洞建筑限界及内轮廓如图 B. 2. 1-3 所示，几何尺寸参数应不小于表 B. 2. 1-3 所列值。



图B. 2. 1-3 框架式 II 型两车道棚洞内轮廓图

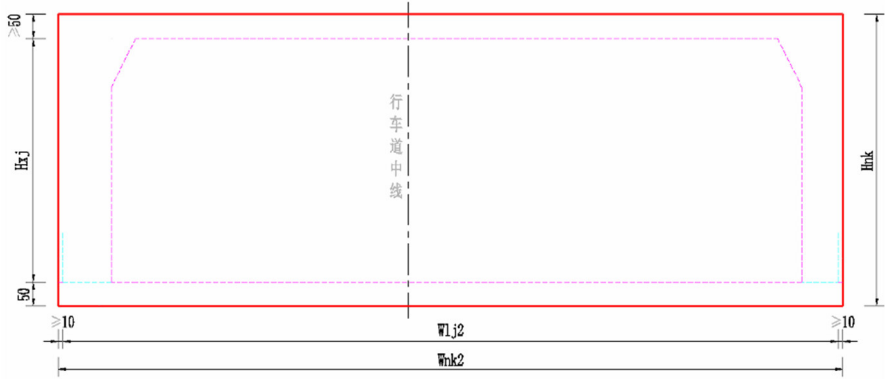
表B. 2. 1-3 框架式 II 型两车道棚洞建筑限界及内轮廓几何参数

公路等级	设计速度	限界		路基	内轮廓	
	(km/h)	Hxj, m	Wxj, m	Wlj, m	Hnk, m	Wnk, m
高速公路 一级公路	120	5.00	12.25	13.75	6.00	13.95
	100	5.00	11.50	13.00	6.00	13.20
	80	5.00	10.75	12.25	6.00	12.45
	60	5.00	10.50	11.50	6.00	11.70

二~四级公路	80	5.00	11.50	12.00	6.00	12.20
	60	5.00	9.50	10.00	6.00	10.20

备注：建筑限界高度均取 5.0m。

4 II型三车道棚洞建筑限界及内轮廓如图 B. 2. 1-4 所示，几何尺寸参数应不小于表 B. 2. 1-4 所列值。



图B. 2. 1-4 框架式 II 型三车道棚洞内轮廓图

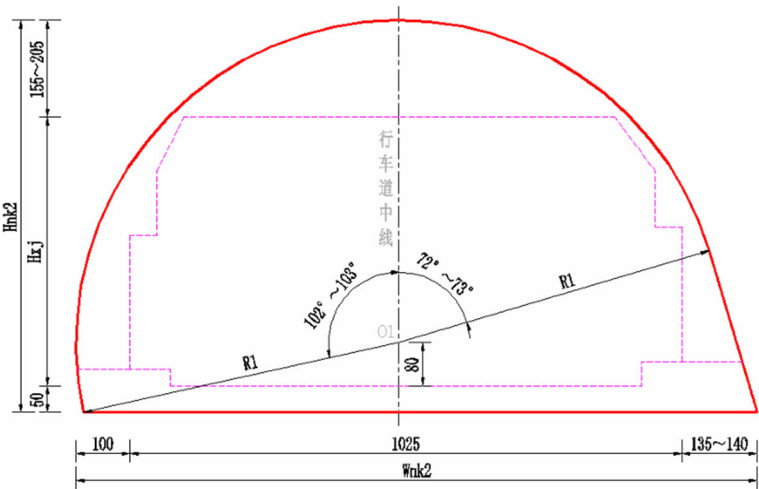
表B. 2. 1-4 框架式 II 型三车道棚洞建筑限界及内轮廓几何参数

公路等级	设计速度	限界		路基	内轮廓	
	(km/h)	Hxj, m	Wxj, m	Wlj, m	Hnk, m	Wnk, m
高速公路 一级公路	120	5.00	16.00	17.50	6.00	17.70
	100	5.00	15.25	16.75	6.00	16.95
	80	5.00	14.50	16.00	6.00	16.20

备注：1、建筑限界高度均取 5.0m；
2. 低等级公路或时速低于 80km 的路段均不考虑设置三车道的棚洞。

B. 2. 2 拱形棚洞：

1 I 型两车道棚洞建筑限界及内轮廓如图 B. 2. 2-1 所示，几何尺寸参数应不小于表 B. 2. 2-1 所列值。



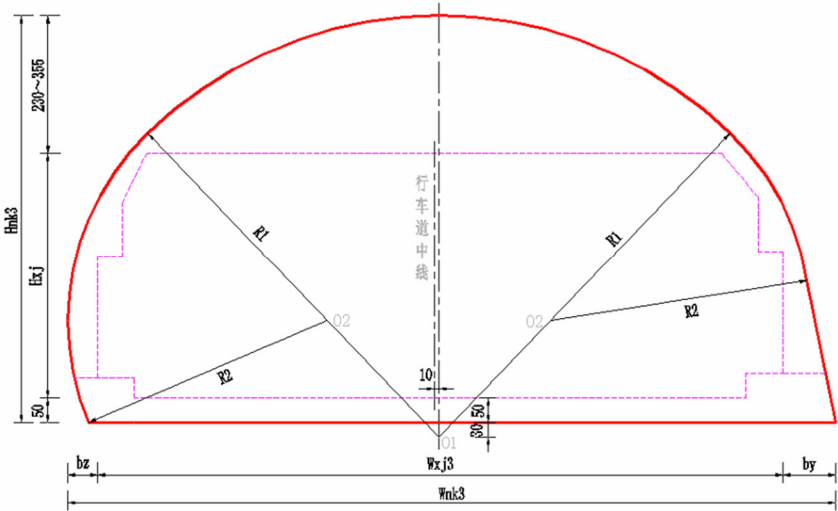
图B. 2. 2-1 拱形 I 型两车道棚洞内轮廓图

表B. 2. 2-1 拱形 I 型两车道棚洞建筑限界及内轮廓几何参数

公路等级	设计速度	限界		内轮廓		
	(km/h)	Hxj, m	Wxj, m	R1, m	Hnk, m	Wnk, m
高速公路 一级公路	120	5.00	11.00	6.25	7.55	11.20
	100	5.00	10.50	6.10	7.40	10.70
	80	5.00	10.25	6.00	7.30	10.45
	60	5.00	9.75	5.75	7.05	9.95
二~四级公路	80	5.00	11.00	6.25	7.55	11.20
	60	5.00	10.00	5.90	7.20	10.20

备注：1、建筑限界高度均取 5.0m；
2、内轮廓拱半径及高宽值仅供参考，需结合隧道内轮廓及设施布置等综合考虑。

2 I 型三车道棚洞建筑限界及内轮廓如图 B. 2. 2-2 所示，几何尺寸参数应不小于表 B. 2. 2-2 所列值。



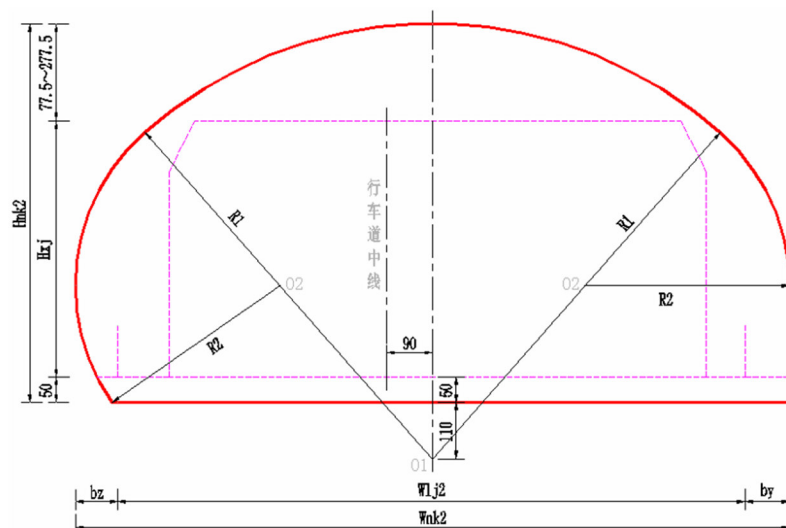
图B. 2. 2-2 拱形 I 型三车道棚洞内轮廓图

表B. 2. 2-2 拱式 I 型三车道棚洞建筑限界及内轮廓几何参数

公路等级	设计速度	限界		内轮廓			
	(km/h)	Hxj, m	Wxj, m	R1, m	R2, m	Hnk, m	Wnk, m
高速公路 一级公路	120	5.00	14.75	9.35	6.05	9.05	16.45
	100	5.00	14.25	8.85	5.55	8.55	15.95
	80	5.00	14.00	8.60	5.30	8.30	15.70
	60	5.00	13.50	8.10	4.80	7.80	15.20
二~四级公路	80	5.00	14.75	9.35	6.05	9.05	16.45
	60	5.00	13.75	8.35	5.05	8.05	15.45

备注：1、建筑限界高度均取 5.0m；
2、内轮廓拱半径及高宽值仅供参考，需结合隧道内轮廓及设施布置等综合考虑。

3 II 型两车道棚洞建筑限界及内轮廓如图 B. 2. 2-3 所示，几何尺寸参数应不小于表 B. 2. 2-3 所列值。



图B. 2. 2-3 拱形Ⅱ型两车道棚洞内轮廓图

表B. 2. 2-3 拱形Ⅱ型两车道棚洞建筑限界及内轮廓几何参数

公路等级	设计速度	限界		路基	内轮廓			
	(km/h)	Hxj, m	Wxj, m	Wlj, m	R1, m	R2, m	Hnk, m	Wnk, m
高速公路 一级公路	120	5.00	12.25	13.75	9.125	4.625	8.275	14.575
	100	5.00	11.50	13.00	8.875	4.375	7.775	14.325
	80	5.00	10.75	12.25	8.500	4.000	7.400	13.950
	60	5.00	10.50	11.50	8.125	3.625	7.025	13.575
二~四级公路	80	5.00	11.50	12.00	8.375	3.875	7.275	13.825
	60	5.00	9.50	10.00	7.375	2.875	6.275	12.825

备注：1、建筑限界高度均取 5.0m；
2、内轮廓拱半径及高宽值仅供参考，需结合设施布置等综合考虑；
3、采用斜腿还是直腿需根据现场实际情况确定。

4 II型三车道棚洞建筑限界及内轮廓如图 B. 2. 2-4 所示，几何尺寸参数应不小于表 B. 2. 2-4 所列值。

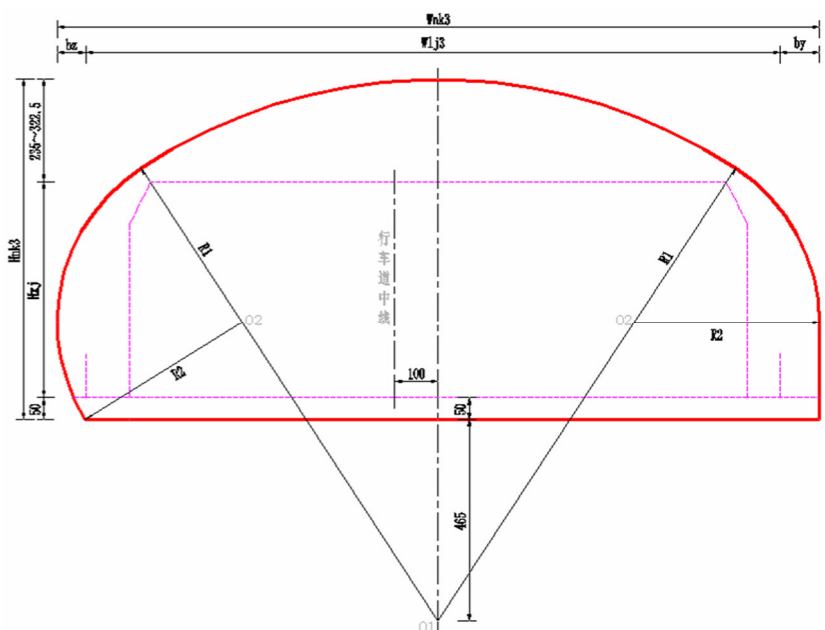


图 B. 2. 2-4 拱形 II 型三车道棚洞内轮廓图

表B. 2. 2-4 拱形 II 型三车道棚洞建筑限界及内轮廓几何参数

公路等级	设计速度	限界		路基	内轮廓			
	(km/h)	Hxj, m	Wxj, m	Wlj, m	R1, m	R2, m	Hnk, m	Wnk, m
高速公路 一级公路	120	5.00	16.00	17.50	13.125	4.875	8.725	19.050
	100	5.00	15.25	16.75	12.875	4.625	8.225	18.300
	80	5.00	14.50	16.00	12.500	4.250	7.850	17.550

备注：1、建筑限界高度均取 5.0m；
2、低等级公路或时速低于 80km 的路段均不考虑设置三车道的棚洞；
3、内轮廓拱半径及高宽值仅供参考，需结合设施布置等综合考虑；
4、采用斜腿还是直腿需根据现场实际情况确定。

B. 2. 3 悬臂式棚洞：

悬臂式棚应用较少，本节仅列两车道、设计时速为 80km 的工况（I 型内轮廓如图 B. 2. 3-1、II 型内轮廓及如图 B. 2. 3-2，图中右侧为靠山体侧、左侧为空旷侧），其它工况可参照执行。

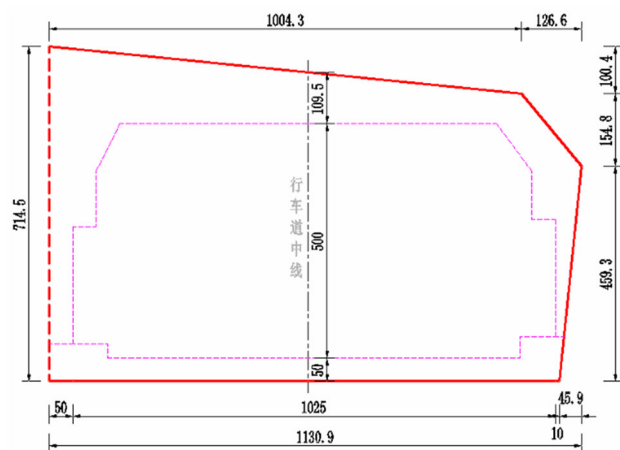
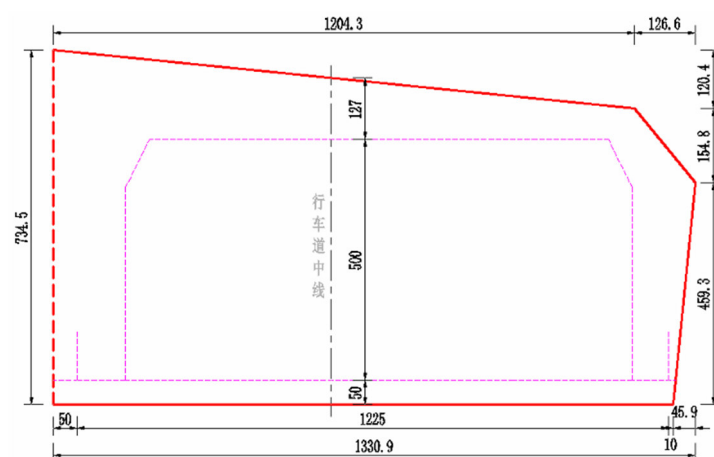
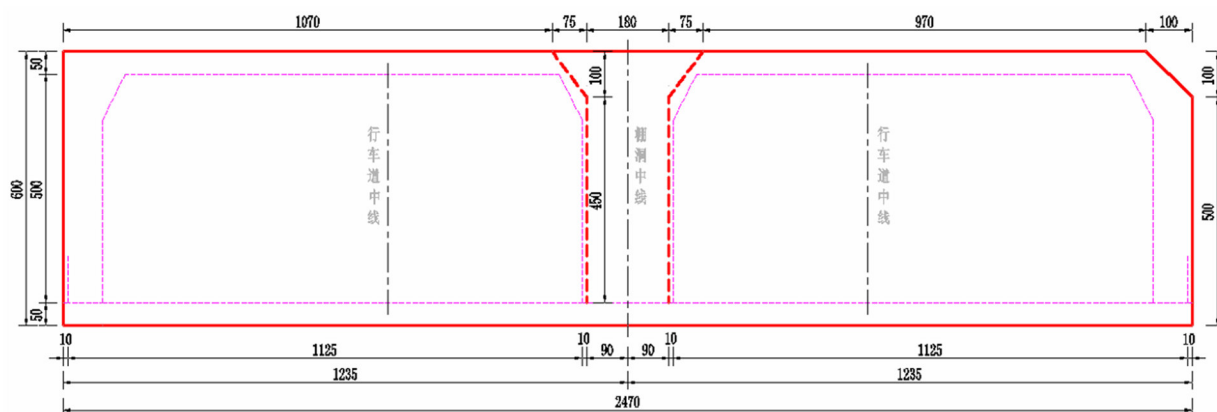
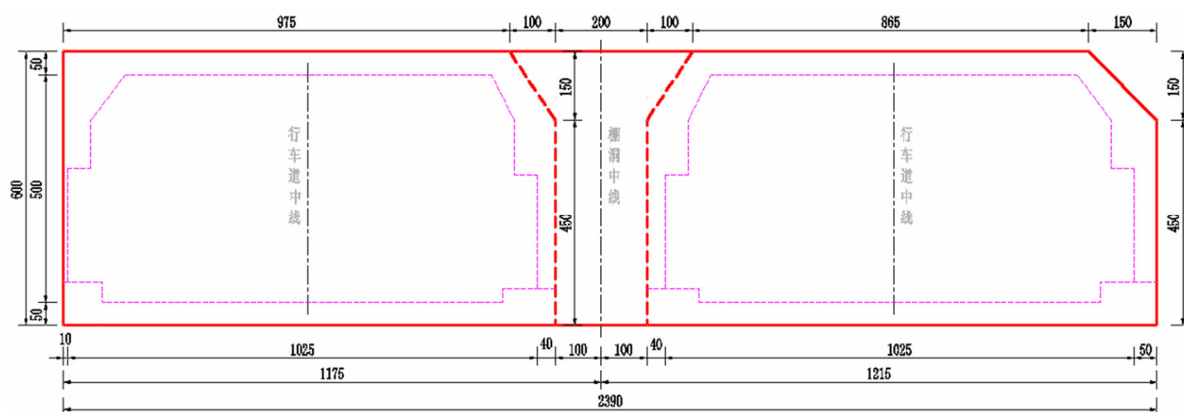


图 B. 2. 3-1 悬臂式 I 型两车道棚洞内轮廓图



B.2.4 双跨式棚洞:

同悬臂式棚洞，双跨式棚应用也较少，本节仅列两车道、设计时速为 80km 的工况（I 型内轮廓如图 B.2.4-1、II 型内轮廓及如图 B.2.4-2，图中右侧为靠山体侧、左侧为空旷侧），其它工况可参照执行。



附录 C 本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做时：

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，在条件允许时，首先应这样做时：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 规范中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《公路隧道设计标准》 JTG 3370.1
- 2 《公路隧道设计细则》 JTG/T D70
- 3 《公路工程抗震规范》 JTG B02
- 4 《公路工程技术标准》 JTG B01
- 5 《公路桥涵设计通用规范》 JTG D60
- 6 《公路路基设计标准》 JTG D30
- 7 《铁路隧道设计标准》 TB 10003、J 449
- 8 《铁路工程抗震设计标准》 GB 50111
- 9 《铁路桥涵设计基本标准》 TB 10002.1
- 10 《混凝土结构设计标准》 GB 50010
- 11 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 12 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 13 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476
- 14 《地下工程防水技术规范》 GB 50108
- 15 《建筑抗震设计标准》 GB 50011
- 16 《钢筋混凝土用钢》 GB 1499
- 17 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 18 《钢筋机械连接技术规程》 JGJ 107
- 19 《中国地震动参数区划图》 GB 18306

云南省工程建设地方标准

云南省公路工程棚洞设计标准

Standard for Design of Highway Shed-tunnel in Yunnan
province

DBJ53/T—XX-2022

条文说明

1 总则

1.0.1 我省幅员辽阔，地形、地质复杂，在不宜设置拱型明洞的地段，同时也不宜采用路基边坡防护的路段，棚洞设计应运而生。棚洞在受力方面比高边坡防护更明确，在抗震性能上比高边坡防护更优越，在防崩塌、落石、泥石流、滑坡方面具有很大的优势，在节能方面又比采用隧道更优越。目前国内、省内已建成了大量公路棚洞，但应看到，我们取得的成果还不多，因此通过本标准的编制给公路棚洞设计提供技术准则，同时推动和提高我省公路棚洞的技术水平。

1.0.2 本条规定了本标准的适用范围。

1.0.3 目前公路棚洞的形式较多，分类的方式也不同有按车道数分类、按侧向支撑方式分类、按施工方分类、按结构形式分类等，为便于论述，本标准推荐采用按结构形式分类。

1.0.4 本条为强制性条文。结构的设计使用年限，通常指结构在技术性能上能够满足使用要求的期限。对棚洞工程进行修理、拆除将带来巨大的经济损失和干扰，国际上对基础设施工程的设计使用年限有进一步延长的趋势，出于资源节约和可持续发展的需要，根据《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 中第 3.3.1 条的规定，大型桥梁、隧道设计使用年限不低于 100 年的要求，本标准提出棚洞工程设计使用年限为 100 年的规定。

1.0.5 本条为强制性条文。按照棚洞结构破坏后果的严重性划分为三个等级，大量的一般结构宜列入中间等级，重要的结构应提高一级，次要的结构可降低一级。

1.0.6 棚洞可从根本上免除公路路线上的土石方坍塌、泥石流、雪崩等病害，然而棚洞的形状和结构建成后不易改建、扩建，因此，在规划、设计阶段就应综合棚洞的合理性与耐久性问题，本条提出了棚洞设计的总原则。

1.0.7 棚洞施工方法选择恰当与否，直接关系到施工安全、工程进度、工程造价等方面。地质与地形是确定施工方法的主要因素，鉴于目前勘探手段的限制，可能实际地质情况与设计有差异，因此选择施工方法需要有一定的适应性。

1.0.8 由于岩土材料物理力学特性非常复杂，利用解析方法预测棚洞结构的力学动态必须建立精度很高的本构关系方程，即使通过较先进的手段能测得需要的力学参数，但由于岩土介质的非连续性，其解析结果与实际也会有较大差异。通过在施工现场开挖过程中不断地对围岩变形和结构变形进行测量，然后以位移量测信息为依据，反算围岩物理力学参数，在此基础上重新评价棚洞结构的事前设计，确定更符合围岩动态的支护参数。

1.0.9 本条为强制性条文。我国耕地少，人口多，生态脆弱，设计中应注意生态平衡，保护环境。

1.0.10 棚洞大多位于地形陡峭，存在坍塌、泥石流、落石的区域，应采取措施减少落石冲击动荷载的作用。

1.0.11 棚洞设计应达到“小震不坏，中震可修，大震不垮”的目标。对不同水准的地震动峰值加速度取值定义如下：

多遇地震：地震动峰值加速度取 $0.33A_g$ ；

设防地震：地震动峰值加速度取 $1.0A_g$ ；

罕遇地震：地震动峰值加速度取 $2.1A_g$ ；

1.0.12 棚洞的水害是由洞内、洞外多种因素引起，所以不可能靠单一的方法就能取得很好的解决。根据多年来隧道治水的经验，应采取“防、排、截、堵结合，因地制宜，综合治理”的原则。与现行《地下工程防水技术规范》（GB 50108）提出的原则是一致的。

1.0.13 棚洞在防崩塌、落石、泥石流、滑坡方面有自身的特点，设计中需有效发挥其功能，并且安全、经济相统一。近年来，隧道和地下工程的科技水平不断提高，在材料、工艺方面也有较大进步，并在逐步普及。

1.0.14 条文中所指的有关标准、规范见引用标准名录。

2 术语和符号

本章仅将本标准常用的、比较生疏的术语列出，术语的解释，其中有部分是国际公认的定义，如设计基准期、极限状态等；但大部分是概括性的涵义，并非国际或国家公认的定义。术语的英文名称不是标准化名称，仅供引用时参考。

本章符号按有关材料性能、荷载（作用）与计算系数、荷载（作用）效应、几何参数几部分列出，这些符号的主体符号是按现行国家标准的规定采用的；当无统一规定时，则按习惯采用。本标准应用的符号没有被全部列出，本章只列出一些主要的。

3 棚洞勘测

3.1 一般规定

3.1.1 棚洞勘测是棚洞位置选择、工程布置和结构设计，以及计划工程投资等整个设计工作的依据，因此，调查资料应齐全、准确。

3.1.2 勘测计划包括对既有资料的收集和调查、地质勘察、环境调查、施工条件调查、调查的方法等内容，勘测过程中应结合实际及时调整或修改计划，提供齐全、准确的设计、施工所需资料。

3.1.3 施工会影响到土地利用、动植物、交通以及自然环境等，从而产生枯水、噪声、振动等问题，因此需对这些事项进行调查，使棚洞工程在施工中及运营阶段对环境影响控制在最小程度。

3.2 调查测绘

3.2.1 各阶段提供的图件应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）和《公路勘测规范》（JTG C10）的规定，如可行性研究阶段应收集绘制 1:5000~1:10000 地形图、地形断面图，并根据调查资料、收集的区域地质图和地质资料编制 1:50000~1:200000 地质或工程地质平面图；初勘阶段根据调查、勘探资料，绘制 1:1000~1:20000 工程地质平面图和水平比例为 1:500~1:2000、垂直比例为 1:50~1:200 的地质纵剖面图、洞口断面图等。在各种不同比例尺的地形图、纵断面图上应附有棚洞所在地周围建筑物及人居状况，以充分反映棚洞位置的地形、地物、地质、人文等全貌。

3.2.2 通过调查所取得的资料，应能充分地说明棚洞通过地段的地形、地质条件、自然条件和施工条件等。实践证明这些资料是棚洞设计和施工必备的基础资料，其内容和深度可根据各阶段的勘测设计要求

和棚洞的规模去确定，使其能满足各阶段的设计和施工需要，最后应形成系统的、完整的资料。调查时应应对某些特殊地质环境问题做专门调查，并提出注意事项，如当测区存在区域性断裂，特别是存在近期活动和发震断层时，以及傍山和濒临水库等的棚洞，须对其的影响程度和棚洞的稳定性作出评价。

3.2.3 不同阶段有不同的目标，在踏勘时，首先进行大范围的全貌调查，了解线路可能走向及棚洞位置存在的地质环境问题，提出调查重点，并用后续进行的调查成果不断地加以评价、修正，使之更趋于完善。调查各阶段是相互联系的一个整体，因此，规定了调查方法可行性阶段以地面调查为主，初、详勘测阶段按要求采用各种勘测手段和岩土物理力学试验。

3.2.4 为把地质调查结果用于工程规划、设计、施工，有必要对条文中所列各项进行工程评价，这些围岩条件，一般来说，用围岩级别或物性值等准确表达是很困难的，需要依靠以往的经验、资料、实例进行判定。在进行隧道设计时，有时需设定围岩的工程模式、初始地应力场等，采用理论分析法或数值分析法来分析围岩的动态和稳定性。

3.3 棚洞位置的选择

3.3.1 地质条件对棚洞位置的选择往往起决定性的作用。棚洞位置应选择在岩性较好、稳定的地层中，将对施工和运营有利，亦可节约投资。对严重不良地质地段，应尽量避免穿越，以免增加设计、施工和运营的困难，甚至影响棚洞的性能和安全，发生意料不到的病害。若不能绕避而必须通过时，应减短其穿越的长度，采取可靠的工程处理措施，以确保棚洞施工及营运安全。

3.3.2 沿河傍山路段、危岩落石地段、陡坡地段，如以路基通过，往往防护工程不少，安全难保，采用隧道方案后期运营成本会增加，且为避免洞壁过薄，路线需靠山内侧，隧道将较长，此时采用棚洞方案为优。为避免对地层的大量扰动，棚洞线位宜适当靠山谷外侧，增加一些基础工程，减少边坡的开挖与防护。

4 总体设计

4.1 一般规定

4.1.1 棚洞作为一种半开敞的构造物，亦即一种带“窗户”的隧道，其设计首先必须满足相应标准、规范的要求。棚洞的主要功能是为了避免滑坡、岩堆、泥石流等，以及减少边坡开挖量。棚洞的优点有以下几方面：（1）减少边坡开挖量，保护边坡稳定；（2）经济、实用，运营过程中无需通风、照明，节约能源；（3）将棚洞连接于隧道洞口，有利于行车安全；（4）在抗震、防灾方面具有一定的优势；（5）能较好的保护自然生态环境。棚洞的缺点主要有：（1）其设计和施工较隧道明洞工程更复杂且施工技术有待进一步提高；（2）棚洞结构简单且非对称结构，其抗震、抗压能力有限。

云南地处山区，公路修建过程中常遇到山高谷深、沟壑纵横、地形地貌和地层岩性复杂的地带，尤其在傍山高速公路的修建工程中，采用棚洞方式能够较好的减少边坡开挖。棚洞设计应在公路总体设计原则的指导下，满足公路的总体功能要求，控制棚洞的规模，合理利用土地资源、保护生态环境。

4.1.2 棚洞设计应“技术可靠、实施可行、环境保护、使用安全舒适”，应进行多方案比选：

1 棚洞方案选择应综合考虑：复杂的地形、地质、气象等条件，以及人文条件、环境条件，沿线社

会经济发展和交通状况等，在勘测、调查资料基础上经多方案综合比较后确定。

2 棚洞建设前：应对棚洞与其它类型构筑物进行方案比选；同为棚洞方案时应针对不同结构型式进行分析比选。

3 棚洞建筑限界拟定时，一般先根据建设项目的公路等级和设计行车速度，选取公路的车道宽度、侧向宽度以及余宽、检修道宽度，然后根据是否设置人行道确定棚洞的最小宽度；棚洞限界的高度根据规范取为：5.0m（高速、一级、二级公路）、4.5m（三级、四级公路）。棚洞内轮廓设计依据建筑限界，在不侵入限界的前提下，综合考虑其路面、排水、检修及机电设施等的布置，同时还应根据棚洞结构形式和施工方法确定安全、经济、合理的断面形式并确定详细尺寸。

4.2 棚洞平面及纵断面设计

4.2.1 一般情况下，棚洞的平、纵面线形服从于所在路段公路的整体设计，当受限于地形、地质和施工条件等因素时，应作调整，综合考虑。

4.2.2 本条中关于停车视距、曲线最小半径的规定源于《公路工程技术标准》，对于棚洞：其平面线形宜设成直线或较大半径的曲线，如果设成较小半径曲线，通常需设置超高和加宽，这将使施工变得复杂，断面不统一以及它们的相互过渡也给施工增加难度；当受限于地形、地质条件不得已时，可在进行论证后采用较小半径线形，但应符合《公路路线设计标准》中关于超高的规定；当棚洞洞口正朝东西方向时，可将洞口段设计成曲线，以避免阳光直射驾乘人员的视野，或者设置必要长度的遮阳棚段。

4.2.3 棚洞内设置 S 形曲线时，应避免如下情况：洞口设置于反向 S 形曲线的拐点或附近；纵断面线形的变坡点与 S 形平曲线拐点相重合；S 形曲线的拐点与凹形竖曲线相组合。

4.2.4 棚洞的纵坡限值是基于如下因素考虑：最小纵坡要求不小于 0.3%，是以棚洞建成后洞内的水能自然排泄为原则；最大纵坡要求不大于 3%是考虑了施工弃渣、材料运输的作业效率，以及运营期间车辆行驶的安全性和舒适性。棚洞中采用双向坡时，其竖曲线半径应尽量采用较大值，以提高行驶安全性和舒适性。

4.2.5 棚洞内外接线线形技术指标应满足规定：洞外连接线的平曲线可根据设计速度来确定，规定 3s 设计速度行驶长度范围的平曲线应与洞内一致；洞内外的线形应相互协调，借鉴以往隧道的经验和教训来看，洞内外接线 50m 内设置纵坡变坡点，通视很差，容易引起交通事故，因此，该处规定棚洞两端的接线纵坡宜有距洞口 5s 设计速度行程的长度与棚洞的纵坡保持一致。

4.2.6 对于距离很近的棚洞群，可将其整体视为一长棚洞，其平、纵线形技术指标应总体考虑。

4.3 棚洞横断面设计

4.3.1 棚洞的建筑限界不仅要提供汽车行驶的空间，还要考虑汽车行驶的安全、快捷、舒适和防灾等；在建筑限界内不得有任何部件（包括通风、照明、安全、监控和内装等附属设施）侵入。

因路基、隧道断面有不同，为相接顺适，将棚洞分为两型，其中：I 型棚洞一般是作为隧道洞口的附加或延长段，其建筑限界应与隧道的相一致；II 型棚洞是路段上设置的独立构筑物，其建筑限界应与路基的相一致。

棚洞的建筑限界宽度由：车道宽度 W、侧向宽度 L（由 L_L 或 L_R 构成）、余宽 C、检修道 J（或人行道 R）、路肩宽（ L_1 、 L_2 ，II 型棚洞）等组成。I 型棚洞建筑限界的宽度组成公式为： $W_{xj}=J+C+L_L+W+L_R+C+J$ ；

II 型棚洞建筑限界的宽度组成公式为： $W_{lj} = L_1 + W + L_2$

棚洞建筑限界拟定时，应综合考虑路线今后的改扩建、提升等因素，必要时将标准适当提高。

4.3.2 棚洞内轮廓断面除了满足建筑限界的基本要求外，还应考虑洞内路面、排水、检修、可能的机电交安设施布置等因素，要为棚洞结构的变形及施工误差预留适当的富余量，设计的断面形式及尺寸应符合安全、经济、合理的原则。

根据调研、分析，本标准中确定了：框架式、悬臂式、拱形、多跨等四种棚洞结构型式，并形成了内轮廓标准断面，列于附录 B 以供参考使用。

5 荷载

5.1 一般规定

5.1.1 本条文对棚洞结构上的荷载作出规定。表 5.1.1 列出了棚洞结构上的主要荷载类型，鉴于对浅埋地下结构各类荷载的统计分析研究已较为全面，为逐步推进地下结构按可靠度设计原则进行设计的理念奠定了基础，同时考虑按以概率论为基础的极限状态设计法较容许应力法更为科学，因此本标准采用了以概率论为基础的极限状态设计法。结构上的作用是指能使结构产生效应（结构或构件的内力、应力、位移、应变、裂缝等）的各种原因的总称。直接作用是指作用在结构上的力集（包括集中力和分布力），习惯上统称为荷载，如永久荷载、活荷载、雪荷载等。间接作用是指那些不是直接以力集的形式出现的作用，如地基变形、混凝土收缩和徐变、温度变化以及地震等引起的作用等。

本标准涉及的内容范围由直接作用和间接作用组成，考虑到设计人员的习惯和使用方便，在后面的条文用词中不再区分作用与荷载，统一用荷载来表述。

5.1.2 本条文所提的特殊荷载是指在 5.1.1 条中未列出的、而又有可能出现的其他所有荷载。由于对一切出现几率很小的荷载全部列出既有困难，也没有必要，故在此条中加以概括。

5.2 荷载组合

5.2.1、5.2.2 当整个棚洞结构或棚洞的一部分超过某一特定状态，而不能满足设计规定的某一功能要求时，则称此特定状态为结构对该功能的极限状态。对承载能力极限状态，一般是以结构的内力超过其承载能力为依据；对正常使用极限状态，一般是以结构的变形、裂缝、振动超过设计允许的限值为依据。

对所考虑的极限状态，在确定其荷载效应时，应对所有可能同时出现的诸荷载作用加以组合，求得组合后在结构中的总效应。考虑荷载出现的变化性质，包括出现与否和不同的作用方向，这种组合可以多种多样，因此还必须在所有可能组合中，取其中最不利的一组作为该极限状态的设计依据。

5.2.3 对于承载能力极限状态的荷载组合，根据所考虑的设计状况，选用不同的组合；对持久和短暂设计状况，应采用基本组合，对偶然设计状况，应采用偶然组合。棚洞结构是永久荷载为主的结构，因此本标准仅列出按永久荷载控制的组合公式。条文中给出的表达式是采用各项可变荷载效应叠加的形式，这在理论上仅适用于各项可变荷载的效应与荷载为线性关系的情况。当设计非线性问题是，应根据问题的性质，或按有关设计标准的规定采用其他不同的方法。

5.2.4 荷载效应组合的设计值中，荷载分项系数应根据荷载不同的变异系数和荷载的具体组合情况（包

括不同荷载的效应比), 以及与抗力有关的分项系数的取值水平等因素确定, 以使在不同设计情况下的结构可靠度能趋于一致。但为了设计上的方便, 将荷载分成永久荷载和可变荷载两类, 相应给出两个规定的系数 γ_G 和 γ_Q 。这两个分项系数是在荷载标准值已给定的前提下, 与规定的目标可靠指标之间, 在总体上误差最小为原则, 经优化后选定的。棚洞结构永久荷载效应与可变荷载效应相比很大, 因此取 $\gamma_G=1.35$ 。棚洞的岩土压力统计数据尚有一定欠缺, 今后对这方面的研究是十分迫切的。

当永久荷载效应与可变荷载效应异号时, 综合考虑经济效果和应用方便的因素建议取 $\gamma_G=1.0$ 。地下水压力作为永久荷载考虑时, 由于受地表水位限制, 其分项系数一般取 1.0。

在倾覆、滑移或漂浮等有关结构整体稳定性的验算中, 永久荷载效应一般对结构是有利的, 荷载分项系数一般应取小于 1.0 的值。

5.2.5 偶然荷载的特点是出现的概率很小, 而一旦出现, 量值很大, 往往具有很大破坏作用。由于偶然荷载的标准值的确定往往带有主观和经验的因素, 因而设计表达式中不再考虑分项系数, 直接采用规定的标准值作为设计值。

5.2.6、5.2.7 正常使用极限状态要求控制的极限标志也不限于变形、裂缝等常见现象, 也可延伸到其他特定的状态, 如地基承载应力的控制等。

5.3 荷载计算

5.3.1、5.3.2 结构或非承重构件的自重是棚洞结构的永久荷载, 其变异性不大, 可按结构尺寸和单位体积的自重确定。

5.3.3 本条为棚洞采用放坡开挖时岩土压力的计算方法。

5.3.4 本条为棚洞采用围护结构护壁开挖时岩土压力的计算方法。

5.3.5 当限制排水时作用在棚洞结构上的水压力, 可根据施工阶段和长期使用过程中地下水位的变化, 区分不同的地质条件, 按静水压力计算或把水作为土的一部分计入土压力。

5.3.6 超静定结构由于温度变化及混凝土收缩引起的变形将产生截面内力, 连续刚架式棚洞对温度变化及混凝土收缩均很敏感。

5.3.7~5.3.13 为可变荷载计算相关规定。

5.3.14 对于落石冲击力的计算, 目前研究还不够深入, 实测资料也很少, 本条给出简化估算方法, 必要时可对其进行验证。

6 建筑材料

6.1 一般规定

6.1.1 混凝土强度等级由立方体抗压强度标准值确定, 立方体抗压强度标准值是本标准混凝土各种力学指标的基本代表值。

根据国际标准 (ISO3893) 的规定, 混凝土标号的名称为混凝土强度等级 (以符号 C 表示), 混凝土试件的标准尺寸边长为 150mm 立方体。

1 混凝土强度等级由立方体抗压强度标准值确定，立方体抗压强度标准值是本标准混凝土各种力学指标的基本代表值。

2 关于石材强度等级的确定，采用边长 70mm 的立方体试块标准，其它边长尺寸试块的强度换算系数，如说明表 6.1.1 所示。石材的强度等级以其标准试件的饱和含水极限抗压强度表示。

说明表 6.1.1 石材强度等级的换算系数

立方体边长(mm)	200	150	100	70	50
换算系数	1.43	1.28	1.14	1.00	0.86

3 水泥砂浆强度等级与《砌体结构设计标准》(GB 50003)相同。

6.1.2 棚洞结构及洞门墙所使用的混凝土强度等级不得低于 C25。

6.1.3 棚洞建筑材料“应符合结构承载、正常使用和耐久性的要求”是指不论在任何情况下，供使用的建筑材料均必须具备的基本条件。

6.1.4 为保证棚洞结构的混凝土质量，特规定“混凝土不应使用碱活性集料”。

6.1.5 为使喷射混凝土的凝结时间加快，规定其优先选用普通硅酸盐水泥；为减少活性水泥颗粒的损失，减少粉尘，利于水泥的充分水化，规定砂的含水率控制在 5%~7%。

钢筋网的钢筋不宜太粗（直径不大于 12mm），否则易使喷层产生裂纹。

6.2 材料性能

6.2.1~6.2.2 混凝土强度标准值、强度设计值、弹性模量及钢筋强度设计值的取值均引自《混凝土结构设计标准》(GB 50010)，有关内容见其条文说明。

6.2.3 钢材强度设计值的取值引自《钢结构设计标准》(GB 50017)，有关内容见其条文说明。

6.2.4 防水板是棚洞结构和水体赋存的地层介质间的隔层，对结构保护具有重要的意义，防水卷材必须具有良好的性能，包括强度、延伸率、热稳定性等多方面。防水材料的性能指标引自《地下工程防水技术规范》(GB 50108)。

7 洞口与洞门

7.1 一般规定

7.1.1 棚洞洞址一般位于或地形陡峭、或地层破碎、或生态脆弱的地段，棚洞洞口段实施应践行“不破坏就是对环境最大的保护”的设计理念，尽可能保护原有地形地貌。其洞门形式应结合地形、地质、及路段构筑物等因素综合确定，与棚洞本身的结构型式匹配，并且简单、适用。

棚洞的洞口排水一方面应能保证洞内的水顺畅排出，另一方面应能有效的对洞外的水进行截挡，防止洞外水流入。

7.2 洞口工程

7.2.1 在考虑棚洞设置段落时，必须重视洞口位置的选择，尽可能将洞口选在地质条件较好、地形不是太偏压的地方。应尽可能降低棚洞洞口边仰坡的开挖高度。当棚洞洞口必须通过箐沟地段时，应采取支挡、防护和防排水措施。

7.2.2 棚洞与路基间应顺畅衔接，保证行车道连接一致的同时，还应预留相应的侧向宽度或余宽。棚洞

与桥梁相邻或相接时，要考虑：棚洞施工的平台、桥梁架设的便利、桥梁与棚洞景观的协调等方面。

7.2.3 棚洞施工前对边坡进行预防护处理：当山坡局部土石失稳，或有危石时，应采取清刷、支挡等措施先进行处理；当坡面松散时，经论证分析后可采取注浆等加固措施。棚洞墙背及拱背回填的压实度等其它要求宜参照《公路路基设计标准》的相关要求选择确定。

7.3 洞门工程

7.3.1 棚洞洞门类型应根据洞口地形、地质、自然及人文环境、棚洞的规模并考虑驾乘人员的视觉感受等因素综合选定。

7.3.2 洞门基础必须置于稳固的地基上，基底松渣应清理干净，以防止滑动和不均匀沉降。洞门墙变形缝、泄水孔应按挡土墙的设置要求进行设置，以防止洞门变形。洞门墙基础埋入深度视地质好坏确定，岩石地基嵌入深度是指清除表面强风化层后的深度；当风化层较厚，难于全部清除时，可根据地基的风化程度及相应的地基容许承载力，将基础嵌入基岩中；斜坡地段的基底应挖台阶，以防墙体滑动。

考虑冻土的地区是指滇西北及滇东北等季节性冻土分布区域，根据公路工程一般设置基础的经验，要求基底设在冻结深度以下不小于 0.25m。如果冻结深度较深，施工有困难，可采取非冻结性的砂石材料换填，也可设置桩基等措施。不冻胀土层中的地基，例如岩石、砾石、卵石、砂等，埋置深度可不受冻结深度的限制。

洞门墙的厚度可按计算并结合其它工程类比确定，但墙身最小厚度不得小于 0.5m。

8 结构设计

8.1 一般规定

8.1.1 棚洞结构主要由盖板、内边墙、外侧支撑以及底板或底梁四部分构件组成。框架式结构是指各部分构件相连接组成的矩形棚洞，外侧支撑可采用直立柱或斜柱；悬臂式结构是指仅由内边墙和盖板组成的棚洞，此类棚洞没有外侧支撑和底部结构，盖板为悬臂结构；拱形结构是指盖板和内边墙为弧形的棚洞，此类棚洞部分可采用暗挖法施工；多跨结构是指由两跨或两跨以上组成的棚洞。各部分构件可采用现浇结构或预制构件。

8.1.2 棚洞的结构型式和尺寸一般应通过计算确定，并需结合经验进行必要的修正。同时应对地基承载力以及结构的抗滑动、抗倾覆等整体稳定性进行验算。

8.1.3 当顶板采用预制构件时接缝处宜采取加大支撑距离、设置限位装置和连梁装置等防落梁措施。

8.1.4 棚洞有为防御落石、崩塌而设的，也有受泥石流等危害而建的，由于棚洞的用途不同，洞顶回填土的厚度和坡度也不一样。回填土过少缓冲作用不足，回填过多则荷载将增加，根据经验要求回填层不小于 1.0m。洞顶回填横向坡度，应以能顺畅排出坡面水为原则，加大填土坡度，将增加偏侧恒载，对顶板受力不利。为满足洞顶排水的需要，回填土坡度应不小于 2%，为防止落石、坍塌的情况下可采用回填土坡度 1:3~1:5。当落石可能较大时需采取必要的缓冲措施。

8.1.5 地质条件变化地段，岩土压力是不同的，地质较差地段的结构适当向地质较好的地段延伸，以起过渡作用，参照隧道设计标准的规定，延伸长度区 5~10m。

8.1.6 棚洞结构受温度影响比地下结构大，为释放混凝土收缩和温度变化在结构中产生的纵向应力，应设置变形缝，间距建议一般控制在 30~40m。当为释放地基不均匀沉降等产生的纵向应力或因抗震需要在主体结构中必须设置沉降缝时，应采取可靠措施确保沉降缝两边的结构不出现影响行车安全的差异沉降。

8.1.7 从传力可靠和简化施工考虑，围护结构与水平构件宜采用钢筋连接器连接。钢筋连接器的抗疲劳性能及割线模量必须符合《钢筋机械连接技术规程》的要求。

8.1.8 结构分析应以结构的实际工作状况和受力条件为依据。结构分析的结果应有相应的构造措施加以保证。例如，固定端和刚节点的承受弯矩能力和对变形的限值；塑性较充分转动的能力；适筋截面的配筋率或受压区相对高度的限制等。

8.1.9 结构设计中采用计算机分析日趋普遍，商业的和自编的电算软件都必须保证其运算的可靠性。而且对每一项电算的结果都应作必要的判断和校核。

8.2 框架式棚洞

8.2.1 框架式棚洞为四边形结构，采用明挖法时施工较为方便。

8.2.2 棚洞所处地段通常地形、地质比较复杂，有的半硬半软，有的全为松散堆积体所覆盖，有的地面陡峻，还有河岸冲刷，个别还存在软弱面或滑动面等；为了保证结构安全稳定，基础必须置于稳固的基础上，这不仅指加深基础，亦包括清除基底虚渣或采取加固措施等来达到基础稳固。外侧立柱为深基础时，于路基面加设纵撑或横撑，主要给立柱加设约束条件，以减少其长细比的影响。扩大基础台阶的坡线和竖直线之间的夹角的容许最大值随基础材料种类而异，本条采用的夹角值根据国内外的试验资料及国内 1954 年以来挡土墙设计使用的经验确定。

8.3 悬臂式棚洞

8.3.1 本条规定了悬臂式棚洞的适用范围。

8.3.2~8.3.3 指出了悬臂式棚洞设计中应注意的事项。

8.4 拱形棚洞

8.4.1 本条规定了拱形棚洞的适用范围。

8.4.2~8.4.3 指出了拱形棚洞设计中应注意的事项。

8.5 多跨棚洞

8.5.1 棚洞单跨跨度过大时不经济，因此四车道及以上的棚洞建议采用多跨结构。

8.5.2 采用连续结构时结构的整体稳定性较好，同时抗震性能也较好。

8.6 棚洞顶板回填与缓冲层

8.6.1 根据云南省棚洞建设的经验，当塌方量大、落石较多时在顶板上设置轻质材料构成的缓冲层能起到很好的效果。

8.6.2 棚洞设置应避开有大型落石可能的地段，当必须通过时顶板上应做专门的减隔震消能设计，同时应加大顶板回填的横向坡度，使落石能尽快从顶板上滑落。

8.7 构造要求

8.7.1 考虑钢筋混凝土结构的耐久性，以及棚洞所处的环境条件、施工精度等，对混凝土强度、抗渗性、

保护层厚度提出基本要求，因棚洞不同与地面结构，故其保护层厚度较地面钢筋混凝土结构规定略大。

8.7.2 钢筋的选用根据《混凝土结构设计标准》（GB50010）的推荐意见确定。

8.7.3 为防止失控车辆发生意外，特制定本条。

8.7.4 根据耐久性要求提出的，当有外观要求时，最大计算裂缝宽度允许值不应大于 0.2mm；当混凝土保护层厚度较大时，虽然裂缝宽度计算值也较大，但从总体上看，较大的混凝土保护层对防止钢筋锈蚀是有利的，故本标准规定，当设计采用的最大裂缝宽度计算式中保护层的实际厚度超过 30mm 时，可将保护层厚度的计算值取为 30mm。

8.7.5 本条提出了装配式结构的设计原则，需考虑不同阶段成形的影响，满足综合功能的需要。

8.7.6 我国建筑结构混凝土构件的最小配筋率，较长时间沿用 20 世纪 60 年代前苏联规范的规定。远未达到受拉区混凝土开裂后受拉钢筋不至立即屈服的水平，本标准直接采用《混凝土结构设计标准》（GB50010-2010）第 8.5.1 条规定，具体说明可见其条文说明。

8.7.7 构件挠度的限值应以不影响结构使用功能、外观及与其他构件的连接等要求为目的。悬臂构件是工程实践中容易发生事故的构件，表注 1 中规定设计时对其挠度的控制要求；表注 4 提出了对起拱、反拱的限值，目的是为了防止起拱、反拱过大引起的不良影响。当构件挠度满足表 8.2.9 的要求，但相对使用要求仍然过大时，设计时可根据实际情况提出比表括号中限值更加严格的要求。

9 结构计算

9.1 一般规定

9.1.1 根据可靠度设计原则采用以概率理论为基础的极限状态设计法是结构设计发展的必然趋势，现行《公路隧道设计标准》考虑到公路隧道建设时间短，样本和研究成果少，仍然采用了破损阶段法。破损阶段法采用单一安全系数，未考虑到不同荷载的影响权重的差异，未考虑到施工方法不同、环境条件不同的影响，随着新材料、新工艺的不断出现，采用单一安全系数法已不适应结构设计发展方向。鉴于目前地下工程的经验日趋丰富，考虑到棚洞结构自身的特点，棚洞结构采用以概率理论为基础的极限状态设计法是可行和科学的。

1 承载能力极限状态：当结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形即下列状态之一时，应认为超过了承载能力极限状态：

- ①整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡（如倾覆、滑移等）；
- ②结构构件或连接因超过材料破坏强度而破坏；
- ③结构或结构构件丧失稳定。

2 正常使用极限状态：当结构或结构构件达到正常使用或耐久性的某项规定限值的下列状态之一时，应认为超过了正常使用极限状态：

- ①影响正常使用或外观的变形；
- ②影响正常使用或耐久性的局部损坏；
- ③影响正常使用的其他特定状态。

9.1.2 结构分析时应选用与其传力特征相符的计算模型和截面计算参数。棚洞结构的受力大多有以下特点：

1 结构的主要受力构件常兼有临时结构与永久结构的双重功能，其结构形式、构件组成、刚度、支撑条件和荷载情况在结构形成过程中不断变化。

2 结构受力与施工方法、开挖步序和工程措施关系密切，结构体系应力常常转换频繁而复杂。

3 后施作的构件是在先施作的结构体系已产生变形和应力的情况下设置的，荷载效应有连续性。

上述特点决定了结构体系中某些关键部位受力最不利情况，往往不是在结构完成后的使用阶段。同时在分阶段计算结构的内力时，需要考虑各阶段之间受力的连续性。

棚洞结构沿纵向间隔一定距离设置伸缩缝时，其纵向应力一般不会成为控制结构设计的因素。但遇本条所列情况时，必须分析结构的纵向应力。一般可采用弹性地基梁模型进行分析，求出其变形和内力后检算其强度。

9.1.3 桩、墙是围护结构推荐采用侧向地基反力法，其特点是将围护结构视为竖向弹性地基上的结构，用压缩刚度等效的土弹簧模拟地层对结构变形的约束作用，可以跟踪施工过程，逐阶段地进行计算。

9.1.4 作用在底板、底梁上的地基反力的大小及分布规律，依结构与基底地层相对刚度的不同而变化。当地层刚度相对较软时，多接近于均匀分布；在坚硬地层中，多集中分布在侧墙及柱的附近；介于二者之间时，地基反力则呈马鞍形分布。为了反映这一分布特点，可采用支撑在弹性地基上的框架模型计算。

计算中应注意两点：

1 底板、底梁的计算弹簧反力不应大于地基的承载力。所以对于软弱地层，需通过多次计算才能取得较为接近实际的反力分布；

2 在水反力的作用下，底板、底梁弹簧不能受拉。

9.1.5 对于棚洞而言，承担外部荷载较为明确，采用荷载-结构法更为适宜，地层-结构法可以作为一种校核方法。

9.2 棚洞支护的荷载-结构计算法

9.2.1 荷载-结构模型认为地层对结构的作用只是产生作用在地下建筑结构上的荷载（包括主动地层压力和被动地层抗力），衬砌在荷载的作用下产生内力和变形，与其相应的计算方法称为荷载结构法。这一方法与设计地面结构时习惯采用的方法基本一致，区别是计算衬砌内力时需考虑周围地层介质对结构变形的约束作用。计算时先按地层分类法或由实用公式确定地层压力，保证衬砌结构能安全可靠的承受地层压力等荷载的作用下，按弹性地基上结构物的计算方法计算衬砌的内力，并进行结构截面设计。如常用的弹性连续框架（含拱形构件）、假定抗力法和弹性地基梁（含曲梁）法等都可归属于荷载结构法。

9.2.2 荷载-结构法的基本假定采用弹性地基梁的假定，即地基表面上任意一点的沉降与该点单位面积上所受的力成正比。弹性地基梁在计算中与普通梁不同，须同时考虑地基的变形，一方面梁给地基压力，使地基沉陷，反过来，地基给梁以相反的压力，限制梁的位移；而梁的位移与地基的位移在每一点又必须相等，以满足变形连续的条件。

9.2.3~9.2.4 为荷载-结构法的计算方法和计算过程，由于计算工作量大，一般采用计算机软件进行计算分析。

9.3 棚洞支护的地层-结构计算法

9.3.1 地层-结构法主要包括如下几部分内容：地层的合理化模拟、结构模拟、施工过程中结构与周围地层的相互作用、地层与结构相互作用的模拟。采用地层-结构法进行计算时应选用与围岩地层及支护结构材料的受力变形特征相适应的本构模型。岩土材料的本构模型可选用线弹性模型、非线性弹性模型、弹塑性模型、黏弹性模型、弹黏塑性模型及节理模型等。

地层结构法充分考虑了地下结构与周围地层的相互作用，结合具体的施工过程可以充分模拟地下结构以及周围地层在每一个施工工况的结构内力以及周围地层的变形更能符合工程实际。但是由于周围地层以及地层与结构互相作用的模拟的复杂性，地层结构法处于发展阶段，在很多工程应用中，仅作为一种辅助手段。不过随着今后的研究和发展，地层结构法将会得到广泛应用和发展。

9.3.3~9.3.4 为地层-结构法的计算方法和计算过程，由于计算工作量大，一般采用计算机软件进行计算分析。

10 棚洞抗震设计

10.1 一般规定

10.1.2、10.1.3 《中国地震动参数区划图》(GB18306--2001)除给出《中国地震动峰值加速度区划图》和《中国地震动反应特征周期区划图》外，还给出了地震基本烈度与地震动峰值加速度的对照表。鉴于目前还无法详细分解抗震措施，为便于使用及考虑规范的连续性，仍在一定程度上沿用了烈度的概念，即对于地震作用采用《中国地震动峰值加速度区划图》上规定的地震动峰值加速度作设计或验算，对于抗震措施采用烈度概念。

10.1.4、10.1.5 本标准采用二阶段设计实现“小震不坏、中震可修、大震不倒”三个水准的设防目标。多遇地震作用为 50 年超越概率 63%的地震作用或重现期为 50 年的地震作用，E1 地震（即设防地震）作用为 50 年超越概率 10%的地震作用或重现期为 475 年的地震作用，E2 地震（即罕遇地震）作用为 50 年超越概率 2%~3%的地震作用或重现期 2000 年~2400 年的地震作用。对多数的结构，可只进行第一阶段设计，而通过概念设计和抗震构造措施来满足第三水准的设计要求。

第二阶段设计是弹塑性变形验算，对地震时易倒塌的结构、有明显薄弱部位的不规则结构以及有专门要求的棚洞，除进行第一阶段设计外，还要进行结构薄弱部位的弹塑性变形验算并采取相应的抗震构造措施，实现第三水准的设防要求。

10.1.6 对于棚洞地震力的计算可采用静力法，是鉴于地震作用下棚洞内墙与填土、地基间的动力相互作用相当复杂，目前还没有一个公认成熟的动力计算方法这样一个实际情况。静力法具有简单、方便的优点，也是国内外抗震设计标准中均采用方法。对于结构较复杂的棚洞结构可采用反应位移法、时程分析法进行抗震计算。

10.1.7 防止地层液化、不均匀沉降以及震陷的主要措施有桩基础、加密法、换土法以及加强基础的整体性和刚度、合理设置沉降缝等。

10.2 地震作用

10.2.1~10.2.4 目前我国新分布的地震区划图,以概率分析方法进行编图,给出地震基本烈度与地震动两类参数,可以概率定量给出设计中的地震作用,这对工程抗震设计是非常合适的。该区划图给出的基本烈度是该地区未来 50 年内一般场地条件下可能遭遇的具有 10%超越概率的烈度值,即地震的重现期为 475 年。另外,我国工程结构的设计已进入以可靠性理论为基础的概率极限状态设计方法阶段,亦要求以作用与抗力两大部分的概率定量给出结构可靠性指标。鉴于以上情况,本标准对重要程度不同的工程以概率统计为基础,针对地震区划图所给出的地震动参数,给出不同的重要性系数。

根据有关规范给出了结构自重地震作用、洞顶回填土地震作用、土压力地震作用的计算方法。

10.3 截面抗震验算

10.3.1~10.3.3 根据《建筑抗震设计标准》(GB50011-2010)中 5.4 节编制。

10.3.4 根据棚洞结构不同荷载特点确定出的荷载组合值系数。

10.4 抗震变形验算

10.4.1~10.4.2 根据本标准采用的抗震设防三个水准的要求,采用两阶段设计方法来实现,从各国规范的规定、震害经验和实验研究结果及工程实例分析,采用层间位移角作为衡量结构变形能力从而判别是否满足功能要求的指标是合理的。棚洞结构要求进行多遇地震作用下的弹性变形验算,实现第一水准下的设防要求。弹性变形验算属于正常使用极限状态的验算,各作用分项系数均取 1.0。混凝土结构构件的刚度一般可取弹性刚度,当计算变形较大时,宜适当考虑构件开裂时的刚度退化,如取 $0.85E_cI_0$ 。在罕遇地震作用下,结构要进入弹塑性变形状态,根据震害经验、试验研究和计算分析结果,提出以构件(梁、柱、墙)和节点达到极限变形时的层间极限位移角作为罕遇地震作用下结构弹塑性层间位移角限值的依据。影响层间极限位移角的因素很多,其中轴压比和配箍率是最主要的因素。

各国规范的变形估计公式有三中;一是按假想的完全弹性体计算;二是将额定的地震作用下的弹性变形乘以放大系数;三是按时程分析法等专门程序计算。

10.5 抗震措施

10.5.1~10.5.9 由于工程场地可能遭受的地震的不确定性,以及人们对结构地震破坏机理的认识尚不完备,因此结构抗震实际上还不能完全靠定量的计算方法。一些从震害经验中总结出来或经过基本力学概念启示得到的一些抗震措施被证明可以有效地减轻结构的震害。但抗震措施的使用不能与定量的分析结果相矛盾。

悬臂式棚洞抗震性能较差,在 7 度地震区可以采用,而在 8 度、9 度地震区不采用,因一旦发生震害,抢修工作比较困难。

提出对采用钢筋混凝土框架结构的抗震构造措施可参照抗震等级为二级的同类地面钢筋混凝土框架结构确定,这类做法是目前设计院采用的方法。严格地说,对地下结构以往尚未开展划定抗震等级的研究,因而对其参照地面钢筋混凝土结构划定抗震等级的合理性需要论证,然而由于这类决策需要综合考虑,以及棚洞结构通常为单层结构,地震作用下结构受到的动力地层抗力有利于使其保持稳定,以及重点设防类工程的抗震构造应符合设防烈度提高 1 度的要求等因素的影响,因而对钢架混凝土棚洞结构的抗震构造提出的规定应属基本合理。

棚洞的简支顶梁最为严重的破坏就是落梁,落梁破坏势必会造成严重的交通中断,震后修复比较困

难，为了提高棚洞的抗震能力，要求加设防震钢筋、防震板或阻挡结构等抗震措施。

11 不良地质段棚洞设计

11.1 滑坡地层棚洞设计

11.1.1、11.1.2 对于规模较大、性质复杂的滑坡区，由于整治工程大，且性质不明、工程可靠度低，一般应进行绕避与整治的比较，以绕避为主。

滑坡是山区公路的主要病害之一，对山区公路建设和交通设施危害较大，因此应重视滑坡的调查工作，通过滑坡工程地质综合勘察，查明滑坡的形成原因及性质，提供滑坡防治措施与计算参数。

滑坡整治，原则上应一次根治，不留后患。滑坡类型较多，即使是同一类型，其情况也各不相同，因此应具体分析不同情况，运用相应技术，综合治理。

11.1.3 滑坡治理与棚洞施工应为两个阶段，在完成前个阶段后方可进行下阶段的施工。

11.1.4 水是引起滑坡体滑动的首要因素，防止水进入滑动带和排出滑坡体的水，显得非常重要，所以在棚洞施工之前应完成截排水沟工程。

11.1.5 古滑坡体在无其他因素扰动的情况下处于临界稳定状态，所以在棚洞施工及运营过程中应避免人为因素导致古滑坡体的发展。

11.1.6 滑坡区棚洞的施工需坚持动态设计与信息化施工的理念，监测结果应作为判断滑坡稳定状态、指导施工、反馈设计和防治效果检验的重要依据。应及时分析滑坡监测资料，预测滑坡位移、变形的发展趋势，适时调整工程设计和施工方案，保证施工安全。

11.1.8 滑坡稳定性判断采用的力学平衡检算方法很多，条文列出传递系数法，是假设分条间推力的作用方向取为上侧条块滑动的方向，引入条间竖向安全剪力，因此，传递系数法所得的安全系数是偏安全的。当稳定系数给定后，则传递系数法计算的下滑力，便可作为棚洞结构所承受的推力。

关于滑面岩土抗剪强度指标，进行土工试验时应选用岩体直剪试验方法。当滑坡为首次滑动时，可采用峰值强度；当为经常滑动或滑动位移量很大时，应作多次剪切或环剪，可采用残余强度；当滑带滞水时，应作饱和快剪或控制含水量下的快剪；当滑带的灵敏度高时，应在原位进行试验，反之可在室内进行试验；当滑带物质中粗颗粒的含量超过 30% 时，应做大面积剪，反之可用小试样做。

采用反算法求 c 、 φ 值，必须注意地质条件基本一致，并根据其差异，特别是反算时滑坡地质条件与以后可能出现最不利条件情况的区别，分析所求 c 、 φ 值的合理性。经验数据有其特殊及局限性，应注意使用条件。

11.2 岩溶地层棚洞设计

11.2.1 石灰岩等可溶性岩层，在流水的长期溶解和剥蚀作用下，产生特殊的地貌形态和水文地质现象，统称为岩溶。岩溶对棚洞的危害有：溶洞顶板坍塌引起的棚洞下沉和破坏；岩溶地面坍塌对棚洞稳定性的破坏；反复泉与间歇泉浸泡基底，引起棚洞沉陷、坍塌或冒浆；突然性的地下水涌水冲毁棚洞等。首先要从地质条件上弄清岩溶的发展规律和分布规律，慎重确定路线的布局 and 位置。在一般情况下，对局部严重的、大型的、不易搞清的岩溶地段，应设法绕避；对不太严重的中、小型岩溶地段，选择其最窄的、

最易于采取措施的地段通过。岩溶地区棚洞设计，主要是对影响棚洞稳定的岩溶和岩溶水进行预防和处理。

11.2.2 对于地表发育的不同形态岩溶，可以根据其规模采用浆砌片石或干砌片石填充或采用桩基础跨越。

11.2.3 当溶洞较大较深，不宜采用堵填封闭的方法，或充填物松软不能承受棚洞结构时，可采用梁、拱跨越。跨越的梁端或拱座应置于稳固可靠的岩层上，必要时灌注混凝土进行加固。

11.2.4 对于已经停止发育的干溶洞来讲，在处理时可采用混凝土、浆砌片石或干砌片石堵塞、充填。

11.2.5 对管道岩溶水宜以疏导为主，采取因地制宜，因势利导的方法，不宜堵塞。一般可采用排水沟、泄水洞等疏导岩溶水。

11.2.6 根据我国公路、铁路建设中处理岩溶洞穴顶板的经验，评价洞顶稳定性必须分析两个因素，一是内在因素：包括顶板的厚度、跨度及形态、岩石性质、岩层产状、节理裂隙状况及岩石物理力学指标等，二是外在因素：包括受载状况、岩石含水量及温度变化影响，以及洞内水流搬运的机械破坏作用等。顶板安全厚度的评价采用近似的办法计算，方法较多，本标准是根据铁路科研成果和京珠高速公路粤境北段的实践经验，采用了厚跨比法。在实践中还可调查既有工程的实例。

11.3 采空区棚洞设计

11.3.1 陡坡地带采空区一旦发生地表塌陷、错落和大范围的地表显著下沉，很可能使陡坡坡脚失稳而引发滑坡，具有环境灾害性质。其治理难度大，费用高，应当绕避。

特厚煤层采空区的地表变形量大，一般都难以满足工程的容许变形值，且治理费也高；陡倾斜煤层露头处在下部煤层开采后，覆岩容易发生塌陷，对地面工程造成破坏。故这两种情况均应绕避。

11.3.2 到目前为止，山西、陕西、河南、河北、新疆、江苏等地均在采空区上修筑了高速公路，这些地区的煤层开采规模较大、开采深度小于或等于 250m，采用注浆治理方案均取得了成功，其它方案尚无工程实例。因此，目前公路采空区治理以全充填注浆法为主。对于埋深大于 250m 的采空区，宜根据采空区的特点、工程地质条件和对公路工程的危害程度及治理费用等因素，确定是否采用全充填注浆方法。对于煤层开采规模较小、开采深度小于 100m 的采空区，可考虑采用桥跨方案。但该治理方案技术要求相对较高，治理费用较大，须谨慎使用。对于煤层开采后顶板尚未塌陷的采空区，可采用非注浆充填方案（包括干砌石、浆砌石、井下回填、钻孔内干湿料回填等方案）；当采空区为单一的巷道，且能在巷道内安全施工时，可采用巷道内干砌石、浆砌石、井下回填等方案；当采空区为壁式或房柱式开采工作面时，可先采用钻孔干湿料回填方案，然后再注浆充填的方案。由于采空区的工程地质条件复杂，应针对采空区的具体情况，将非注浆充填方案和注浆充填方案联合使用，达到经济合理的最佳治理效果。干砌石、浆砌石、井下回填等方案的技术规定可参照相应的规范或规定执行。

11.3.3 采空区棚洞宜采用静定结构，避免由于不均匀沉降引起结构次应力。

11.3.4 采空区多存有瓦斯等有害气体，施工时应加强对有害气体的监测，确保施工安全。

11.3.5 不均匀沉降是采空区棚洞结构的主要病害，所以施工过程中应加强对结构变形的监测。

11.4 膨胀性围岩棚洞设计

11.4.1 膨胀土是一种以蒙脱石、伊利石、或伊利石—蒙脱石为基本矿物成分的粘性土，具有遇水膨胀、

失水收缩的特征即胀缩性，是一种特殊膨胀结构的粘土质。

关于膨胀土的判别，国内外尚不统一，根据多年来工程实践的经验总结和工程地质特征，自由膨胀率大于 40%和液限大于 40%的粘土质，可初判为膨胀土，但这并不是唯一的，最终决定的因素是胀缩总率及膨胀的循环变形特征，以及再与其它指标相结合的综合判别方法。

11.4.2 建造在膨胀土中的棚洞结构都要承受水平膨胀力的作用。水平膨胀变形和膨胀压力是土体三向膨胀的问题，它比单纯的竖向膨胀要复杂得多。大量试验结果表明：作用于挡土结构上的水平膨胀力相当大，是导致膨胀土上结构破坏失效的主要原因，设计时应考虑水平膨胀力的作用。在总结国内成功经验的基础上，本标准对结构设计提出构造要求。当墙背设置砂卵石等散体材料时，一方面可起到滤水的作用，另一方面还可起到一定的缓冲膨胀变形、减小膨胀力的作用。因此，墙后最好选用非膨胀土作为填料。无非膨胀土时，可在一定范围内填膨胀土与石灰的混合料。应当说明，设计考虑膨胀土水平压力后，造价将成倍增加，从经济上看，填膨胀性材料是不合适的。

虽然在膨胀土地区的挡土结构中进行过一些水平力测试试验，但因膨胀土成因复杂、土质不均，所得结果离散性大。鉴于缺少试验及实测资料，对棚洞边墙的膨胀土水平压力取值，设计者应根据地方经验或试验资料确定。

11.4.3 目前，对膨胀土的处理一般均采用换填或注浆等方法，并应采用地下排水措施。膨胀土地基换填可采用非膨胀性土、灰土或改良土，换填厚度应通过变形计算确定。膨胀土土性改良可采用掺和水泥、石灰等材料，掺和比和施工工艺应通过试验确定。

11.4.4、11.4.5 棚洞施工宜采取分段作业，施工过程中基坑(槽)不得暴晒或泡水。地基基础工程宜避开雨天施工；雨期施工时，应采取防水措施。水是膨胀性围岩棚洞工程产生病害的主要根源，对膨胀性围岩强度和体积有较大影响。围岩含水量的变化直接使其强度和体积发生变化，所以，应重视地表防水、排水工程，防止地表水、地下水渗流到内墙背后或棚洞底部，造成内墙变形或底鼓现象。

11.4.6 膨胀性围岩变形大、速度快，事故具有突发性，因此，积极采取现场监控测量，及时了解变形量、变形时间及空间变化规律是非常有必要的。

11.5 泥石流区棚洞设计

11.5.1~11.5.2 应根据公路等级，选择适度的泥石流综合防治措施。对于高等级公路，在全流域泥石流活动频繁的地区，不采取治土、治水和排导等多种措施相结合的综合治理，就不能有效地控制泥石流和消除泥石流的危害。但对泥石流的综合治理，非公路一个部门就能承担，应与当地其它部门的防治规划相协调，全面规划、共同治理。

11.5.3 泥石流排导沟设计，要求通过洪峰流量时不发生淤积，也不出现冲刷；急流槽是用以防止棚洞的淤塞和堵塞；导流堤是改变泥石流的流向和流速，使泥石流能顺利排走，确保棚洞的安全。

12 辅助工程与动态设计

12.1 一般规定

12.1.1 棚洞在浅埋地段、自稳性差的软弱破碎地层，严重偏压、岩溶流泥地段，砂土层、砂卵（砾）

石层、断层破碎带以及大面积淋水或涌水地段施工时，由于开挖后围岩的自稳时间小于完成支护所需的时间，往往会发生开挖面围岩失稳，或由于初期支护的强度不能够满足围岩稳定的要求以及大面积淋水、涌水而导致洞体围岩丧失稳定而产生坍塌、冒顶。此时，需要采用辅助工程措施（又称辅助工程方法，简称辅助工法）以加固围岩的稳定性。

12.1.2 各辅助工程措施的适用条件如下：

1 地表砂浆锚杆或地表注浆加固：适用于浅埋、洞口地段和某些偏压地段。能有效防止地表下沉、处理偏压、防止坡面崩塌。优点：对开挖无影响。

2 护拱：适用于浅埋、某些偏压地段、或边坡上方地面有建筑物。

3 井点降水法：适用于渗透系数不小于 0.6m/d 的匀质沙土及亚粘土地段。

4 深井降水法：适用于覆盖较浅的均质沙土及亚粘土地层。

12.1.3 是否采用辅助工程措施，应根据棚洞所处的工程地质和水文地质条件、长度、边坡高度、施工机械、工期和经济等方面考虑决定。使用时，可结合棚洞所处的围岩条件、施工方法、进度要求、配套机械、工期等进行比选，必要时可采取几种方法综合处理。

12.2 动态设计

12.2.1 动态设计与信息化施工，就是将施工中获得新的地质信息及监测信息反馈给设计部门，对原来的设计进行修改、优化、完善，这是一个动态设计过程。施工单位根据动态设计，调整施工方案，按动态设计进行信息化施工。

12.2.2 地形、地质条件复杂的棚洞地质勘察问题，无论是在国内还是国外，目前都是难于完善解决的。想在勘察设计阶段就准确查明工程岩体的状态、特征，并预报可能引发棚洞施工地质灾害的不良地质体的位置、规模和性质是极其困难的。由于岩土工程固有的不确定性，故施工过程应采用现代先进的量测设备，开展以超前地质预报、监控量测为主要手段的信息化施工，及时评判设计合理性，调整支护参数和施工方案。通过动态设计使支护结构适应围岩的实际情况，质量可靠、技术先进、安全实用、经济合理。

12.2.3 如果施工不当，不能随时掌握施工动态，及时发现施工中存在的问题并及时处治，将可能导致边坡失稳，棚洞结构受力过大而出现安全隐患等工程问题。因此，在施工中对棚洞边坡进行监测，随时掌握边坡围岩的动态，了解边坡支护体系的受力状态，对危险地段及时加强支护，可以有效预防和避免边坡失稳；通过对棚洞结构内力和结构位移以及棚洞结构与相邻边坡之间的相互作用力的监测，可以及时了解棚洞结构的受力状态，了解各道工序下棚洞结构的内力分布状态和内力大小 确定结构的安全状态，确保棚洞施工和运营中的安全。

12.2.4 必测项目是为了在设计、施工中确保边坡围岩稳定，并通过判断围岩的稳定性来指导设计、施工的经常性量测。这类量测通常测试方法简单，费用少，可靠性高，但对监视围岩稳定、指导设计施工却有巨大作用。

12.2.5 选测项目是对一些有特殊意义和具有代表性意义的区段以及实验区段进行补充测试，以求更

深入的掌握围岩的稳定状态与边坡支护的效果，具有指导未开挖区的设计与施工的作用。这类量测项目测量项目较多，费用较高，为不段完善棚洞设计的分项系数法，建议适当选做，并做研究分析。

12.2.5 条文以图示出棚洞监测典型断面测点布置图，实施过程中可结合棚洞的特点进行调整。

12.2.6、12.2.7 监测预警值一般分为位移预警值、位移速率预警值、位移速率变化预警值，结构所承受的应力、应变、压力预警值。

1 位移预警值：位移监测预警值实测位移值不应大于隧道的最大允许位移值，并按下表位移管理等级施工。一般情况下，宜将棚洞设计的预留变形量作为最大允许位移值，而设计变形量应根据监测结果不断修正。

管理等级	管理位移	施工状态
III	$U < (U_0/3)$	可正常施工
II	$(U_0/3) \leq U \leq (2U_0/3)$	应考虑加强支护
I	$U > (2U_0/3)$	应采取特殊措施

注:U 表示实测位移值, U_0 表示最大允许位移值。

2 位移速率预警值，根据位移速率判断：速率持续大于 5mm/d 时，围岩处于急剧变形状态，应加强初期支护；速率变化在 0.2~1mm/d 时，应加强观测，准备加固；速率小于 0.2mm/d 时，围岩达到基本稳定。在高地应力、岩溶地层和挤压地层等不良地质中，应根据具体情况制定判断标准。

3 位移速率变化预警值，根据位移速率变化趋势判断：当围岩位移速率不断下降时，围岩处于稳定状态，当围岩位移速率变化保持不变时，围岩尚不稳定，应加强支护；当围岩位移速率变化上升时，围岩处于危险状态，必须立即停止掘进，采取应急措施。由于岩体的流变特性，岩体破坏前变形时程曲线可分为三个阶段：

(1) 基本稳定区：主要标志为位移速率逐渐下降，即： $\frac{d^2u}{dt^2} < 0$ ，围岩处于稳定状态。

(2) 过渡区：位移速率保持不变，即 $\frac{d^2u}{dt^2} = 0$ ，表明围岩向不稳定状态发展，需发出警告，加强支护系统。

(3) 破坏区：位移速率逐渐增大，即 $\frac{d^2u}{dt^2} > 0$ ，表面围岩进入危险状态，必须立即停止施工，采取有效手段，控制其变形。

总之，围岩稳定性判断是一项很复杂的也是非常重要的工作，必须结合具体工程情况采用上述几种判别准则进行综合评判。

4 结构所承受的应力、应变、压力预警值：结构承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比大于或等于 0.8 时，围岩不稳定，应加强支护；结构承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比大于或等于 0.5 而小于 0.8 时，应加强观测；结构承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比小于 0.5 时，围岩处于稳定状态。

在施工过程中，应根据量测数据处理结果，调整和优化施工方案及工艺；必要时，向有关单位提出变更设计建议。量测数据整理、分析与反馈应符合以下规定：

- 1 对初期的时态曲线应进行回归分析，预测可能出现的最大值和变化速度，掌握位移变化的规律。
- 2 数据异常时，应及时分析原因，提出对策和建议，并及时反馈给有关单位。

13 防水与排水

13.1 一般规定

13.1.1 “防”是指衬砌、防水层具有防水能力，防止地下水透过防水层、衬砌结构渗入洞内。“排”是指通过畅通的排水设施将衬砌背后、路面结构层下的积水排出隧道区。“截”是指通过截（排）水沟将易于渗漏到隧道的地表水从地面截排走。“堵”是指采用注浆、喷涂、嵌衬抹面、堵水墙等方法堵住渗水裂隙、空隙，或用气压控制地下水。

棚洞的防排水工作，应结合水文地质条件、施工技术水平、材料来源和成本等，因地制宜，选择合适的方法，“防”有措施、“排”有出路，保证棚洞结构物和运营设备的正常使用和行车安全。

13.1.2、13.1.3 “不渗水”是指衬砌、路面、设备箱洞等结构表面无湿润痕迹。“不滴水”是指水滴间断地脱离拱部、边墙向下滴落，有时连续出水，也称作滴水成线。“不积水”是指路面结构底部和衬砌背后不产生积水。在冻害地区，积水会造成衬砌背后和路面底部冻胀，影响隧道结构和形成安全。“不冻结”是指排水沟不出现结冰冻胀。在冻害地区，排水沟冻结将会影响隧道内排水系统的畅通，甚至造成整个隧道的冻胀病害。

13.1.4 大量排水后将有可能引起地下水流失，造成当地农田灌溉和生活用水的减少，造成围岩颗粒流失，形成地下空洞，甚至地表塌陷，降低围岩稳定性，改变该地区的自然环境。围岩地下水的来源大部分由地表水补给，所以防止或减少地表水下渗、下漏，是减少围岩渗漏水或涌水的一种措施。此外，围岩注浆可有效的将地下水堵在岩体内，减少或阻止地下水的渗漏。注浆材料应具有无毒、低毒、低污染，稳定性好、耐久性强，耐侵蚀性的特性。

13.1.5 棚洞结构一般防排水设置如下图：

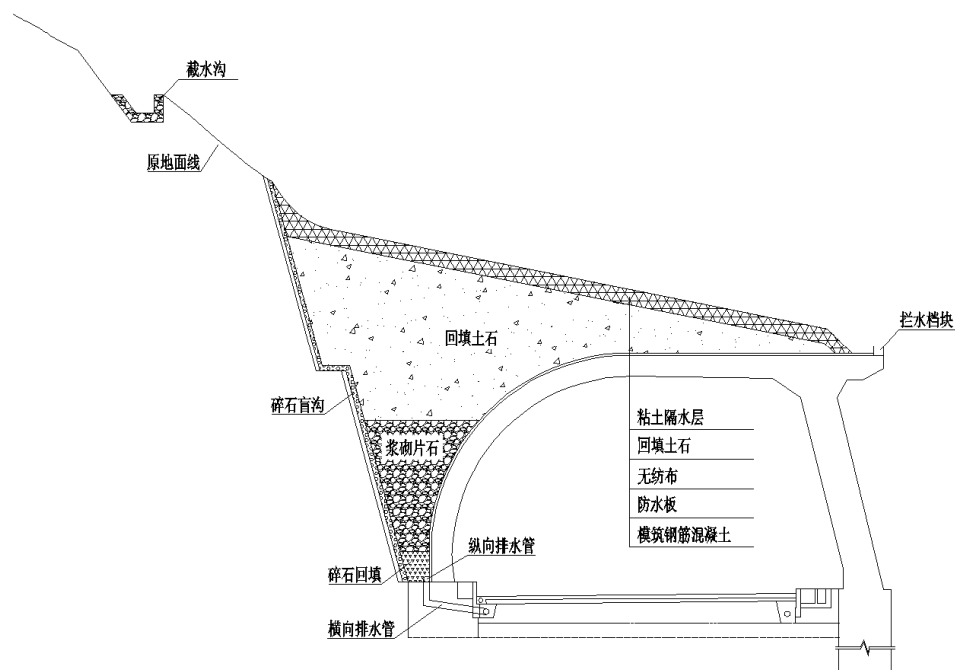


图 13.1.5 棚洞结构防排水横断面图

1 如不设截、拦、排等措施，地表水容易冲刷坡面，引起坡面坍塌；或流入回填土体内部，泡回填料，增加明洞荷载。为了保证明洞结构安全，条文规定：“边仰坡坡顶应设置必要的截排水系统”。一般情况下，棚洞边坡设置地表截水沟，总体原则是天沟排水顺畅，沟内不得有积水。根据棚洞建设地区的气候条件和坡面状况，在边坡开挖线 3~5m 以外设截水沟，截水沟可采用矩形断面，也可采用梯形断面截水沟。

2 为了防止地表汇水的渗透，“回填土表面宜铺设粘土隔水层”，减少或隔断水流的通路。粘土隔水层与边坡的搭接处往往是水流的良好通道，由于水流的渗透软化作用，易产生回填土体的滑移，故要求回填土“与边坡搭接良好”。

3 对衬砌背后的地下水，条文提出：“靠山侧边墙底或边墙后，宜设置纵向和竖向盲沟，将水引至边墙泄水孔排出”。

4 外贴式防水层防水效果显著，对于棚洞来说，更具有施工方便的特点，故要求“衬砌外缘应敷设外贴式防水层”。外贴式防水层一般由防水板和无纺组成。

13.2 防水

13.2.1 在棚洞结构外侧铺设无纺布和防水板组成的防水层，可有效地防止地下水渗漏进衬砌内，无纺布及防水板的性能应符合现行的《地下工程防水技术规范》(GB50108)的相关要求。

13.2.2 棚洞主体混凝土结构既是棚洞结构的重要组成部分，又是棚洞防水的屏障。提高混凝土的密实性，既是棚洞结构本身耐久性的要求，也是增强棚洞结构混凝土自防水能力的保证。为此，规定棚洞主体结构混凝土应满足抗渗要求。

13.2.3 施工缝、变形缝是防渗漏水的薄弱环节。为此，条文提出“应采取可靠的防水措施”。可靠的防水措施是指除按施工规范要求处理外，还应进行精心的设计，采用合适的防水材料和构造形式。

13.2.4 侵蚀性地下水对地下结构侵蚀的主要原因是：硬化水泥浆中含有易为软水所溶解和能与酸类或某些盐类起化学反应的成分,如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、水化铝酸钙以及硬化水泥浆周围存在着能使其发生腐蚀作用的介质。同时,混凝土或砂浆的密实度、渗透性以及侵蚀介质的浓度、水的压力、流速、水位、及水温的变化等对侵蚀的进展亦有很大影响。此外,冻融、干湿等因素也在很大程度上促进侵蚀的发展。总之,地下水对地下结构侵蚀是一个极其复杂的物理化学作用过程,往往是数种侵蚀作用同时存在,彼此互相影响。有侵蚀性地下水时,要因地制宜,尽可能采用多道防线,以达到防侵蚀的目的。

13.2.5 围岩注浆时将不透水的凝胶物质(防水材料)通过钻孔注入、扩散到岩层裂隙中,把裂隙中的水挤走,堵住地下水的通路,减少或阻止用水流入工作面,同时还起到固结破碎岩层的作用,从而为开挖、衬砌创造条件。

13.2.6 本条文以图示出了棚洞主体结构防水层、施工缝防水及变形缝的主要防水构造形式。当地下水较丰富时,施工缝中可采用中埋式橡胶止水带。

13.3 排水

13.3.1 棚洞内应设置完善的纵横向排水沟管,保证排水畅通,避免洞内积水,排水系统应具有方便的维修疏通设施。

13.3.2

1 路侧边沟主要是引排运营中棚洞内清洗污水、消防污水和其他污水,电缆沟内的集水也应引入路侧边沟。

2 洞内纵向排水沟坡度与路线坡度保持一致,是为了避免加深或减小边沟深度,保持正常过水断面不变。

3 开口式明沟便于清洗,不易淤积,不需要设沉砂池,采用预制,施工速度快。缺点是预制块间的接缝不易保证不漏水。盖板式暗沟沟身可以现浇,也可以预制,边沟盖板有活动盖板和固定盖板两种。活动盖板施工简单,清洗方便,可以不设滤水篦,由盖板接缝滤水,宜设沉砂池,缺点是对行车不利;固定盖板对行车有利,但边沟淤积,不便疏通,为此应设沉砂池和滤水篦。

13.3.3

1 国内外的工程实例表明,纵横向盲沟系统对路面底积水疏导效果明显,且可避免因设置深埋侧沟引排地下水而导致衬砌边墙墙基加深、仰拱加深。衬砌背后的地下水经横向导水管通过纵向盲沟排出。因此,条文提出“路面结构下宜设纵向纵向盲沟,集中引排地下水”。地下水量不大的中、短棚洞可不设盲沟。

2 纵横向盲沟断面尺寸应根据设计流量计算确定,以确保排水设施的排水能力。过水流量根据地质调查确定,还应根据开挖时的涌水情况进行适当修正。

3 地下水可能夹带泥砂或沉积矿物质,纵向盲沟应设置沉砂池,间距 50m。检查井根据需要设置,间距不应小于 250m。

4 棚洞底设横向导水管是为了将衬砌背后的纵向盲沟与底板下纵向盲沟连接起来,将靠山侧边墙背后的地下水引入底板下纵向盲沟;横向导水管的最小排水坡取 2%,是为了加快横向排水速度。纵向间距应根据地下水量确定,一般可按 30-50m 设置。横向导水管的两端应采用三通连接。

5 路面底部横向设一定的排水坡度,有利于地下水迅速排入纵向盲沟,防止路面底积水,避免路面冒水,破坏路面。

13.3.4 目前国内隧道衬砌外排水通常的做法是,在衬砌外缘防水层与喷射混凝土层之间设纵向排水盲管、环向导水管。纵向排水盲管设在边墙底部,沿隧道两侧布置,全隧道贯通,环向导水管沿隧道衬砌外缘环向布设,并下伸到边墙脚与纵向排水盲管连通。在遇有地下水较大的地段或有集中渗水地段,应加设竖向导水管。衬砌背后的地下水通过环向、竖向导水管,汇集到纵向排水盲管以后,通过横向导水管,将衬砌背后的地下水引入底板下纵向盲沟排出洞外。

1 靠山侧边墙脚设全棚洞贯通的纵向排水盲管(沟)是为了将衬砌背后的地下水汇集到衬砌最低位置,并可沿棚洞纵向顺坡流动,排水坡度与棚洞纵坡一致。

2 在衬砌背后应设置环向、竖向导水盲管(沟),使衬砌背后形成环向、竖向导水通道。环向导水管是沿拱墙背整环连续铺设;设置间距应根据出水量大小、出水面情况确定,间距不应大于 20m。即使施工期间没有地下水也必须每 20m 设一道,这是因为隧道衬砌施工完成后,衬砌背后地下水可能发生改变。当地下水量较大、有集中出水点时,设置间距应加密。竖向导水管是从拱墙某一出水位置向下铺设到墙脚与纵向盲沟相连。环向导水管、竖向导水管管径应不小于 50mm。

3 排水管、导水管相互连通是衬砌背后地下水迅速排出的重要条件。盲管(沟)用无纺布包裹是为了防止岩土颗粒进入自管(沟),起滤水作用。

当衬砌背后采用防水板时,在防水板背后应设无纺布,是利用无纺布良好的导水和滤水特性,是使地下水能迅速汇集到边墙脚纵向排水盲沟(管)的有效措施。衬砌背后导水管布设密度有限,通常采用透水型盲管,这样水既可以进去也能出来。无纺布沿拱墙衬砌背满铺,利用水的毛细作用,通过无纺布纤维将地下水导入纵向排水盲沟;同时,无纺布又可作为围岩和防水板的缓冲垫层,防止围岩棱角和尖锥刺破防水板,起保护防水板的作用。无纺布的单位面积质量不小于 $300\text{g}/\text{m}^2$ 。有实验表明,无纺布与防水板粘合成一体铺没,其滤水和导水性能大大降低,起不到应有的作用,所以无纺布不得与防水板粘合在一起。有时候为了施工方便,无纺布和防水板一次铺设,只能分点粘接,每平方米一个粘接点,每点粘接面积不太于 25cm^2 。

13.3.5、13.3.6 洞外的水不应流入隧道,避免将洞外泥沙和杂物带入洞内,堵塞洞内排水系统。当出口方向的路堑为上坡时,一般可沿路线方向反坡排水;当地形条件限制,反坡排水有困难时,最好在棚洞口设置有流水篦的横向路面截水沟,阻止洞外路面水流入棚洞内。必须通过棚洞排水时,水沟应保证有足够的过水断面和相应的措施。

14 棚洞内路基与路面

14.1 一般规定

14.1.2、14.1.3 棚洞内的路基与路面是承受车辆长期行驶大的基本载体,是公路棚洞最重要的部位之一。稳定、密实、匀质的路基可为路面提供均匀的支承;满足车辆荷载作用应有的强度、抗滑性、平整、耐磨性的路面是保证行车安全、舒适的基本条件;路面要长期承受高速车辆荷载的冲击与摩擦,保证其

耐久性尤为重要。

14.3 路基

14.3.1 本条文规定了棚洞内路基的两种类型：带底板或仰拱棚洞的仰拱填充棚洞路基和不带仰拱的天然石质地基作为棚洞路基。

带底板或仰拱棚洞衬砌为封闭结构时，地下水的危害影响小，只要严格按仰拱填充材料和填充要求施工，就可以达到较好的路基的稳定性、密实性、匀质性。

不设底板或仰拱的天然石质地基作为棚洞路基，受地下水影响大，故除其他物理力学性能要求外还对地基的水稳性、软化程度提出高的要求，因此要求地基为完整性较好的、无显著软化的中硬或硬岩以上岩石作为天然地基，故作规定“不设底板或仰拱的棚洞，其路基应置于稳定的石质地基上”。

14.3.2 本条文规定不设仰拱的棚洞石质地基中，纵向盲沟的最高地下水位不宜高于路基顶面以下 30cm，主要是减少地下水的毛细管作用使整平层、基层混凝土潮湿。对设仰拱的棚洞，纵向盲沟设在仰拱下，或设在仰拱填充中间。

14.4 路面

14.4.1 近年来，我省各级公路多采用沥青混凝土路面，而棚洞长度一般较短，为使棚洞内外路面纵（横）向附着系数无明显差异从而保证行车安全，建议采用下面层为水泥混凝土而上面层为沥青的复合式路面。

16 棚洞内安全设施

16.1. 一般规定

16.1.1 棚洞交通安全设施设计内容应包括交通标志、标线、轮廓标的设计。交通安全设施设计应简洁明晰、视认性好，应能规范、诱导、指示车辆在棚洞区域内安全行驶。

16.1.2 交通安全设施设计应坚持“安全、环保、舒适、和谐”的理念，采用合理的、能体现驾驶员及其他棚洞使用者需要的交通安全设施，对出行的安全性、方便性有重要作用，同时能美化路容，增加出行的愉悦性、舒适性。

16.1.4 棚洞内安全设施应结合路网与公路条件、交通条件、环境条件进行总体设计，这样才能从公路使用者的角度出发，更好的为其提供优质服务。同一条公路交通安全设施设计采用的设置原则、方案、风格宜保持一致，以与驾驶人员的期望值相吻合。这里“同一条公路”首先是指同次需要完成的设计项目，对分阶段实施的公路项目来说，在可能条件下宜统一全线的设计标准，分路段参照执行。

交通安全设施之间、交通安全设施与公路主体工程和其他设施之间应互相协调、配合使用。如交通标志与交通标线之间的含义不得相互矛盾，交通标志与监控外场设备之间不应相互影响，公路上设置减速丘设施时应设置相应的交通标志、标线等。

近年来国内外公路交通安全设施领域的新技术、新材料、新工艺、新产品不断出现，在设计中采用时，应注意一下几个方面的因素：

1 任何新技术、新材料、新工艺、新产品首先必须要满足安全和使用功能方面的要求，并应通过有

关权威机构的试验验证，符合相关标准、规范的要求。

- 2 其次还要考虑耐久性、建设成本、养护成本、美观、防盗性等因素。
- 3 在必要的条件下，应经过现场试验段的检验。
- 4 经上述充分论证后才可以采用公路交通安全设施的新技术、新材料、新工艺和新产品。

16.1.5 交通安全设施设计应符合现行《道路交通标志和标线》(GB 5768)、《公路交通安全设施设计标准》(JTG D81) 和《公路交通标志和标线设置规范》(JTG D82) 的有关规定。

16.2. 标志

16.2.1、16.2.2 消防设备指示标志与疏散指示标志，版面样式与内容应符合《公路隧道设计标准 第二册 交通工程与附属设施》(JTG 3370.1/2) 的有关规定。

电光标志应满足以下技术要求：

- 1 电光标志防护等级不应小于 IP65。
- 2 疏散指示标志的表面最小亮度不应小于 5cd/m²，最大亮度不应大于 300cd/m²，白色、绿色本身最大亮度与最小亮度比值不应大于 10；白色与相邻绿色交界两边对应点的亮度比不应小于 5 且不应大于 16。
- 3 除疏散指示标志外的电光标志，其白色部分最小亮度不应小于 160cd/m²，最大亮度不应大于 300cd/m²，亮度均匀度不应小于 70%。

16.3. 标线

16.3.1~16.3.3 驾驶员在道路上安全快速的行驶，有赖于道路线向的轮廓分明，在路面标线和视线诱导设施的指引下，建立了行进方向的参照物，司机对其视野范围更远的道路走向有了直观感知。因此，路面标线是引导司机视线、诱导司机驾车行为的重要手段，它可以确保车流分道行驶，导流交通行驶方向，指引车辆在汇合或分流前进入合适的车道，加强车辆行驶纪律和秩序，促使更好地组织交通。正确设置交通标线能合理利用道路有效面积，改善车流行驶条件，增加车道通行能力，减少交通事故。

棚洞内道路标线主要为纵向指示类标线，包括双向车道路面中心线、行车道分界线和行车道边缘线等。考虑到棚洞内可能的双向通车条件，棚洞内突起路标宜为双面显示或双面发光型。棚洞内须设置轮廓标，以便使行车人员更清楚地识别棚洞的线形及轮廓。

17 棚洞内防护与装饰

17.0.1 棚洞防火分类根据公路等级、棚洞长度和交通量划分为一类、二类、三类等 3 个类型，并应符合表 17.0.1 的规定：

表 17.0.1 棚洞防火类型划分标准				
交通量 (辆/日)	棚洞长度 (m)	防火类型	公路等级	
			公路等级	车道数
5000~7500	1000<L≤2000	三类	二、三、 四级公路	双车道
	2000<L≤3000	二类		
	L>3000	一类		
7500~10000	500<L≤1000	三类		

	$1000 < L \leq 2000$	二类		
	$L > 2000$	一类		
10000~15000	$500 < L \leq 1000$	二类		
	$L > 1000$	一类		
15000~20000	$750 < L \leq 1000$	三类	一级公路	四车道
	$1000 < L \leq 2500$	二类		
	$L > 2500$	一类		
20000~30000	$500 < L \leq 1000$	三类		
	$1000 < L \leq 2000$	二类		
	> 2000	一类		
25000~40000	$500 < L \leq 750$	三类		六车道
	$750 < L \leq 1500$	二类		
	> 1500	一类		
40000~55000	$500 < L \leq 1000$	二类		
	$L > 1000$	一类		
25000~40000	$500 < L \leq 750$	三类	高速公路	四车道
	$750 < L \leq 1500$	二类		
	> 1500	一类		
40000~55000	$300 < L \leq 1000$	二类		
	$L > 1000$	一类		
45000~60000	$500 < L \leq 1000$	二类		六车道
	$L > 1000$	一类		
60000~80000	$500 < L \leq 1000$	二类		
	$L > 1000$	一类		

17.0.2~17.0.5 棚洞内壁装饰材料目前主要有瓷砖、涂料和装饰板材。由于棚洞环境与室外环境具有相似性，棚洞内壁装饰材料应符合室外建筑材料相关规范的要求。内壁装饰往往可提高行车舒适性，但会增加建设与养护成本，不宜盲目采用。

附录 A 岩体与土体物理力学参数

A.0.1~A.0.4 列出了棚洞结构计算中常用的岩体和土体的物理力学指标。

附录 B 棚洞标准内轮廓

B.1、B.2 对于设计等级和速度相同的公路上的棚洞，采用同一内轮廓有利于设计、施工、运营及管养等各个阶段的标准化。棚洞与隧道不同，其功能上应与相邻路段统一。

- 1 I 型棚洞限界的宽度的组成：行车道宽度+侧向宽度+余宽+人行道或检修道宽。
- 2 II 型棚洞限界的宽度的组成：行车道宽度+硬路肩宽度+土路肩宽度。
- 3 几种型式的棚洞内轮廓中，拱形棚洞的受力效果最好但其内空富余量较大。
- 4 工况组合：框架式和拱形棚洞，I 型两车道高速公路、一级公路在设计速度为 120km/h、100km/h、80km/h、60km/h 时含 4 种工况；I 型两车道二~四级公路在设计速度为 80km/h、60km/h 时含 2 种工况；I 型三车道时与两车道相同，因此 I 型共有 12 种工况。II 型时两车道工况与 I 型相同有 6 种工况，II

型三车道高速公路、一级公路在设计速度为 120km/h、100km/h、80km/h 时含 3 种工况，共 9 种。两种类型共计 21 种工况。

悬臂式和双跨棚洞使用可能性较大的 I 型、II 型两车道设计速度为 80km/h 时的工况，各有 2 种工况。

5 棚洞靠山谷侧纵向开口的高度和跨度：设计时应先了解棚洞所在地区的地形地貌特点，掌握该地区的人文景观元素，结合棚洞建筑宽度、高度以及施工技术和工艺进行综合分析，在安全、美观的原则下确定。