

GDJT

广东省交通运输标准化指导性技术文件

GDJT xxx-xx-20xx

公路下沉式明挖隧道设计技术规范 (试行)

Technical specification for design of highway depressed open cut
tunnel

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

广东省交通运输厅发布

目 次

前 言	III
引 言	IV
1..... 范围	1
2..... 规范性引用文件	1
3..... 术语和定义	2
4..... 基本规定	4
5..... 隧道调查与勘察要求	6
5.1..... 隧道调查	6
5.2..... 隧道勘察	7
6..... 线形与横断面	11
6.1..... 一般规定	11
6.2..... 隧道线性设计	11
6.3..... 隧道横断面设计	12
6.4..... 紧急停车带与横通道设计	15
7..... 建筑材料	18
7.1..... 一般规定	18
7.2..... 结构材料	20
7.3..... 防水材料	25
8..... 隧道结构荷载与计算	30
8.1..... 一般规定	30
8.2..... 隧道结构荷载	30
8.3..... 隧道结构计算	32
9..... 主体结构设计	37
9.1..... 一般规定	37
9.2..... 结构设计	37
9.3..... 抗浮设计	41
9.4..... 防火设计	42
9.5..... 结构监测	42
10..... 基坑支护设计	44
10.1..... 一般规定	44
10.2..... 基坑围护结构及稳定性验算	46
10.3..... 基坑支锚体系	69
10.4..... 地下水控制	71
10.5..... 基坑监测	73
11..... 地基与基础设计	77
11.1..... 一般规定	77

11.2.... 换填垫层	77
11.3.... 复合地基	78
12..... 防水与排水设计	81
12.1 .. 一般规定	81
12.2.... 防水	81
12.3 .. 排水	84
13..... 附属工程	86
13.1 一般规定	86
13.2.... 隧道路基与路面	86
13.3.... 电缆沟	86
13.3.5 电缆沟应满足自流排水要求。	86
13.4.... 预留预埋	86
13.5.... 洞口景观	87
13.6.... 洞口减光构造物	87
附录 A	89
附录 B	92
附录 C	95
附录 D	97
附录 E	100
附录 F	103

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省交通运输厅提出。

本文件由广东省交通运输标准化技术委员会归口。

主 编 单 位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

参 编 单 位：广东省交通运输规划研究中心

广东省高速公路有限公司

华南理工大学

保利长大工程有限公司

主要编写人员：

主要审查人员：

GDJT xxx-xx-20xx

引 言

随着大湾区公路建设的迅猛发展，在综合考虑城市空间利用、减少土地资源占用、降低公路立体交叉对周边景观影响等因素，广东省公路立体交叉地下化趋势明显。鉴于公路下沉式明挖隧道应用的普遍性和特殊性，且暂无相应的设计标准，下沉式隧道设计混乱、工程安全问题特出。

为了适应我省公路建设发展的需要，本文件贯彻落实安全、经济、耐久、环保的原则，对我省下沉式隧道进行了广泛的调研，总结了多年来公路下沉式明挖隧道工程的建设经验，并调查吸收了近年来我省下沉式明挖隧道的设计、施工、建设的科研成果，形成本规范。

本文件的执行有助于统一广东省公路下沉式明挖隧道的建设标准，推动公路下沉式明挖隧道的安全建设与可持续发展，为广东省下沉式明挖隧道建设向标准化设计、机械化施工、智能化管控发展提供基础。

公路下沉式明挖隧道设计技术规范

1 范围

本文件规定了公路下沉式明挖隧道土建设计的基本规定、隧道调查与勘察要求、线形与横断面、建筑材料、隧道结构荷载与计算、主体结构设计、基坑支护设计、地基与基础设计、防水与排水设计、附属工程的技术要求，隧道交通工程与附属设施的设计应满足 JTG D70/2 等相关规范要求。

本文件适用于明挖法开挖施工的公路下沉式隧道土建工程设计。

2 规范性引用文件

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

- GB 14999.1 钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋
- GB 14999.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋
- GB/T 8162 结构用无缝钢管
- GB 50108 地下工程防水技术规范
- GB 18173.2 高分子防水材料第2部分：止水带
- JTG B01 公路工程技术标准
- JTG D20 公路路线设计规范
- JTG D60 公路桥涵设计通用规范
- JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
- JTG 2232 公路隧道抗震设计规范
- JTG D50 公路沥青路面设计规范
- JTG D40 公路水泥混凝土路面设计规范
- JTG D70/2 公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施
- CJJ 221 城市地下道路设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

公路隧道 highway tunnel

供汽车及非机动车和行人通行的地下通道，一般分为汽车专用隧道和汽车、非机动车与行人共同同行的隧道。

[来源：JTG 3370.1—2018，2.2.1]

3.2

下沉式明挖隧道 depressed open cut tunnel

地表以下，采用明挖法修筑的隧道，其结构一般由U形敞开段和矩形封闭段组成。

3.3

隧道建筑限界 tunnel construction clearance

为保证公路隧道内车辆行驶、人员通行所需求的限定空间。

[来源：JTG 3370.1—2018，2.1.6]

3.4

紧急停车带 emergency parking strip

隧道内供故障车辆、巡查车辆等临时停车的区域。

[来源：JTG 3370.1—2018，2.1.6]

3.5

车行横洞 adit for vehicle passing

紧急情况下供救援车辆或人员出入的通道。

[来源：JTG/T D70—2010，2.1.15]

3.6

人行横洞 adit for people passing

紧急情况下供人员逃生或救援人员出入的通道。

[来源：JTG/T D70—2010，2.1.16]

3.7

U形敞开段 U-shaped open section

U形结构，上方没有顶板的敞开隧道节段。

3.8

矩形封闭段 rectangular buried section

矩形结构，埋在地面以下的隧道节段。

3.9

基坑支护 retaining and protection for excavations

为保护地下结构和基坑周边环境的安全，对基坑采用的支挡、加固、保护和地下水控制的措施。

[来源：DBJ/T 15—20—2016，2.1.2，有修改]

3.10

止水帷幕 curtain for cutting off drains

用于阻止或减少基坑侧壁外及基坑底地下水涌入基坑而采用的竖向连续墙体。

[来源：DBJ/T 15—20—2016，2.1.19]

3.11

地基处治 ground treatment

为提高地基土的承载力，改善其变形性能或渗透性能而采取的技术措施。

[来源：JGJ 79—2012，2.1.1]

4 基本规定

- 4.1 公路下沉式明挖隧道设计应满足公路规划、公路功能、土地资源、生态环境、可持续发展的要求，平纵线性、建筑限界、净空断面、通风、照明和交通监控等设施应与公路等级相适应。
- 4.2 公路下沉明挖隧道设计应符合安全实用、质量可靠、经济合理、技术先进的要求。
- 4.3 公路下沉明挖式隧道可按长度分为4类，并应符合表1的规定。

表1 下沉式隧道长度分类

单位为米

分类	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道
长度	$L > 3000$	$3000 \geq L > 1000$	$1000 \geq L > 500$	$L \leq 500$
注1：下沉式明挖隧道长度系指隧道建筑限界起、终点所在断面与路线轴线交点间的间距。 注2：本表仅适用确定土建工程，不适用于机电工程。				

4.4 公路下沉明挖隧道总体设计应遵循下列原则：

- a) 隧道位置应满足公路功能和发展的需要，符合路线总体要求；
- b) 在地形、地貌、地质、气象、城市路网、既有管网、区域规划、周边既有构筑物、社会和人文环境等调查的基础上，综合比选隧道各轴线方案的走向、平纵线形、洞口位置、洞外接线条件等，确定隧道方案；
- c) 根据公路等级和设计速度确定建筑限界，在满足隧道功能和结构受力要求的前提下，确定经济合理的隧道轮廓形式；
- d) 隧道线形设计中的平面、纵断面和横断面应进行综合设计，满足视距要求，确保行车安全与舒适；
- e) 根据隧道长度、平面布置、交通量及其组成、环境保护和安全运营要求等，选择合理的通风方式，确定通风、照明、排水、交通监控、防灾救援等设施的设置规模；
- f) 应结合公路等级、隧道长度、施工方法、工期和运营要求，对隧道内外防排水系统、救援通道、交通工程设施、管理设施、环境保护等进行综合设计；
- g) 应考虑隧道与相邻既有建筑物和规划建筑物的相互影响；
- h) 隧道总体设计应考虑节能降耗、方便维修和养护。

4.5 隧道位置应选择在稳定的地层中，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。必须通过时，应采取切实可行的工程技术措施。

4.6 下沉式明挖隧道洞口路肩设计高程应高出计算洪水位（含浪高和壅水高）不小于0.5m，不同等级公路隧道设计洪水位频率标准应满足表2，当观测洪水位高于频率标准时，应按观测水位设计。城市周

边地区的公路下沉式隧道设计洪水频率应结合城市防洪标准,考虑救灾通道、排洪和泄洪需求综合确定。

表 2 下沉式隧道设计水位的洪水频率标准

隧道类别	公路等级			
	高速公路、一级公路	二级公路	三级公路	四级公路
特长隧道	1/100	1/100	1/50	1/50
长隧道	1/100	1/50	1/50	1/25
中、短隧道	1/100	1/50	1/25	1/25

4.7 下沉式明挖隧道应做好出入口位置设计及出入口交通组织,协调与地面交通的衔接,保证地下道路通畅,进出交通有序,与周边路网衔接顺畅。

4.8 下沉式隧道结构应分别对施工阶段和使用阶段按承载能力极限状态及正常使用极限状态进行设计。

4.9 下沉式隧道设计使用年限应符合表 3 的规定。

表 3 下沉式隧道设计使用年限

单位为年

名称	隧道主体结构				可更换修复结构
	特长隧道	长隧道	中隧道	短隧道	特长、长、中、短隧道
高速公路、一级公路、二级公路	100	100	100	100	30
三级公路	100	100	100	50	
四级公路	100	50	50	50	

4.10 下沉式明挖隧道应结合隧道内纵坡、暴雨强度、地面排水系统等,开展排水设计。

4.11 下沉式明挖隧道排水泵房位置应结合地质条件、隧道纵坡等确定,并宜布设在隧道纵断面最低点附近。

4.12 下沉式明挖隧道路面结构应具有足够的耐久性和稳定性,并满足 JTG D50 及 JTG D40 要求。当采用沥青混凝土路面时,应具有阻燃性好、噪声低的性能。

4.13 下沉式明挖隧道交通设施设计应加强安全行车引导,交通设施应洁、可视性好、易识别。

4.14 隧道特殊异常地段可设置结构安全监测系统,及时掌握隧道结构运营期间的安全状况。

4.15 下沉式明挖隧道应进行抗震设计,隧道抗震设防分类和设防标准应按 JTG 2232 确定。

5 隧道调查与勘察要求

5.1 隧道调查

5.1.1 公路下沉式明挖隧道应根据不同设计阶段要求，按公路等级、隧道特点及规模，确定资料收集调查的内容和范围，调查资料应齐全、准确，并满足设计要求。

5.1.2 隧道调查应分施工前调查和施工中调查两个阶段。施工前调查内容、范围、精度等应满足相应设计阶段的要求；施工中调查应核实和预判施工中遇到地质问题，为动态设计提供依据。

5.1.3 公路下沉式明挖隧道设计应具备以下资料。

下沉隧道的有关资料：

- 下沉隧道的总平面布置图、纵面布置图；
- 下沉隧道结构形式、荷载，对基础竖向及水平位移的要求及可能采用的基础形式；
- 下沉隧道结构安全等级；
- 下沉隧道可能采用的基坑支护形式。

场地与环境条件的有关资料：

- 隧址场地现状，包括地形地貌、交通设施、高压架空线、地表排水设施、地下管线和地下构筑物的分布；
- 相邻建筑物安全等级、基础形式及埋置深度；
- 附近类似工程地质条件场地的桩基工程试桩资料和单桩承载力设计参数；
- 周围建筑物的防振、防噪声的要求；
- 隧址区周边规划；
- 泥浆排放、弃土条件；
- 隧址所在地区的抗震设防烈度和建筑场地类别。

岩土工程勘察文件：

- 隧道结构、桩基及基坑设计所需用岩土物理力学参数及原位测试参数；
- 对隧址区的不良地质作用，如滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、土洞等，有明确判断、结论和防治方案；
- 地下水位埋藏情况、类型和水位变化幅度、设计洪水位、抗浮设计水位及地下水浮力计算的设计水位，土、水的腐蚀性评价；
- 抗震设防区按设防烈度提供的液化土层及软土震陷资料；

——有关地基土冻胀性、湿陷性、膨胀性等特殊岩土评价。

施工条件的有关资料：

——施工机械设备条件，制桩条件，动力条件，施工工艺对地质条件的适应性；

——水、电及有关建筑材料的供应条件；

——施工机械的进出场及现场运行条件；

——基坑开挖与支护结构使用期内施工材料、施工设备等临时荷载的要求；

——雨季时的场地周围地表水汇流和排泄条件。

5.2 隧道勘察

5.2.1 隧道勘察宜按可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察三个阶段开展工作，并可根据施工阶段的需要进行施工勘察。勘察方法及成果应满足对应勘察阶段及设计要求。

5.2.2 隧道勘察应对地基作出评价，为地基方案选择及基础设计提供工程地质依据和必要的设计参数，并提出相应的建议。当隧址周边存在其他地下设施时，需对拟建工程与既有地下设施之间的相互影响，予以评价，供设计参考。

5.2.3 可行性研究勘察应对拟建场地的稳定性和工程建设的适宜性做出评价，并应以搜集资料、工程地质测绘和调查为主，必要时应进行适当的勘探、测试及试验。

5.2.4 可行性研究勘察工作应包括下列内容：

- a) 搜集区域地质、构造、岩性、地震、水文、气象、地形、地貌等资料；
- b) 了解场地的工程地质条件和水文地质条件概况；
- c) 调查拟建场区及周边环境条件；
- d) 初步调查不良地质作用的分布范围，分析评价其影响；
- e) 分析评价隧址场地工程建设的稳定性与适宜性，并划分抗震地段类别；
- f) 当分布有特殊性岩土时，应分析其工程特性及可能造成的不利影响；
- g) 存在两个或以上拟选隧址时，进行比选分析。

5.2.5 初步勘察应在可行性研究勘察的基础上，初步查明拟建场地的岩土工程条件，评价拟建地段的稳定性，提出初步设计所需的建议及岩土参数。

5.2.6 初步勘察应根据现场地形地质条件，采用遥感图像地质解译、工程地质调绘、物探、钻探、挖探、简易勘探、原位测试、室内试验等多种工程地质勘察手段，对建设场地的工程地质条件进行综合勘察。

5.2.7 在对资料收集分析研究的基础上，对隧道方案有重大影响的活动构造断裂带、大型不良地质体，

应重点布置勘察工作，查明其性质、范围及规模等，明确其对隧道方案的影响程度。

5.2.8 初步勘察应对工程项目建设可能诱发的地质灾害和环境工程地质问题进行分析、预测，评估其对隧道工程和环境的影响。公路地质灾害评估工作的内容、要求及方法，可参照《地质灾害危险性评估规范》（GB/T 40112—2021）、《广东省地质灾害防治“十四五”规划》（粤自然资发〔2022〕4号）、《广东省地质灾害危险性评估实施细则》（2023年修订版）《广东省地质灾害特征认定和分级标准》（2021年版）、《场地地质灾害危险性评估技术要求》（试行）（T/CAGHP 025—2018）等规范、细则及技术要求。

5.2.9 初步勘察勘探线应与隧道轴线方向一致，勘探点应兼顾隧道主体结构、基础及基坑方案布设。

5.2.10 初步勘察工作应基本查明下列内容：

- a) 地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地震动参数；
- b) 岩土的物理力学性质以及地基承载力等岩土设计参数；
- c) 地下水的类型、埋深、厚度、分布、补给和排泄条件、水位变化幅度、涌水量，地表水及地下水的水质及腐蚀性；有承压水时，应分层测量其水头高度；分析评价地下水在运营期间的变化，明确抗浮水位，提供抗浮设计的建议；
- d) 覆盖层的成因、地质年代、地层结构、土质类型、分布范围、厚度及其变化情况；
- e) 基岩的地质年代、成因、岩性及其组合、基岩面的埋深及起伏变化情况、岩石坚硬程度、岩体的完整性、岩石风化程度及风化界面；
- f) 岩土的水文地质参数如渗透系数、给水度、导水系数等；
- g) 拟建场地不良地质作用的分布、规模、成因、发展趋势等；
- h) 软土、可液化土等特殊岩土及有害气体的分布和特性；
- i) 当存在特殊性岩土及有害气体等时，分析其工程特性，并评价其对隧道工程产生的不利影响；
- j) 地下管线、地下设施、邻近建筑物或构造物的分布情况，既有建筑物的基础类型和埋深等；
- k) 评价场地和地基的地震效应；
- l) 分析地基稳定性、地基变形特征，对可能采用的地基方案进行比选分析；
- m) 拟采用桩基时，分析备选桩端持力层的分布变化规律，提出桩型、施工方法的初步建议，提供桩侧摩阻力和端阻力；
- n) 评价周边环境与拟建工程的相互影响，提出防治措施初步建议。

5.2.11 隧道勘探应以钻探为主，结合物探、挖探、原位测试等方法进行综合勘探。

5.2.12 初步勘察勘探点平面布设应满足下列规定：

- a) 露头不良时，应沿隧道轴线及其两侧布置物探纵向测线，其间距宜为 50m~100m，数量不宜少于 3 条；横向测线的间距不宜大于 200m，测线至隧道结构边缘外侧的长度不宜小于 150m；发育有区域性断裂、岩溶、暗滨及地质条件变化复杂时，应加密物探测线，适当扩大探测范围；
- b) 隧道钻孔宜沿基坑两侧交错布置，勘探点距隧道结构边缘外侧的距离宜为 5m~8m；基坑宽度大于 30m 时，宜沿隧道轴线及其两侧按梅花形布置。地质条件简单时，钻孔间距应为 100m~150m；工程地质条件较复杂时，钻孔间距应为 75m~100m；工程地质条件复杂时，钻孔间距应为 50m~75m。当基坑支护需要采用锚杆时，基坑外勘探点的范围不宜小于基坑深度的 2 倍；
- c) 隧道封闭段、敞开段应分段布置横向勘探断面，其间距宜为 50m~100m，地质条件变化复杂时，应加密勘探断面。每条横向勘探断面上的钻孔数量宜为 3~5 个，横向勘探断面至隧道结构边缘外侧的长度宜为 50m~100m，视围护结构的类型、规模和地质条件的复杂程度确定；
- d) 覆盖层为软土、黏性土、粉土、砂土时，应与静力触探结合进行综合勘探，并应选取代表性钻孔，在距钻孔孔位不大于 5m 的位置布置静力触探对比孔。

5.2.13 初步勘察勘探孔的勘探深度应满足下列规定：

- a) 在覆盖层中，一般性钻孔勘探深度不宜小于基坑开挖深度的 2.0 倍，技术性钻孔勘探深度不宜小于基坑开挖深度的 3.0 倍，并满足查明地基持力层和软弱下卧土层分布的要求；
- b) 在全、强风化岩中，一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不宜小于 15m，技术性钻孔进入隧道结构底板以下不小于 20m；
- c) 在中、微风化岩中，一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不宜小于 5m，技术性钻孔进入隧道结构底板以下不小于 10m；
- d) 有岩溶、土洞、软土、可液化土发育，或有降水需要时，勘探深度应适当加深；
- e) 基坑面以下存在软弱土层或承压水含水层时，勘探孔深度应穿过软弱土层或承压水含水层；
- f) 当拟采用桩基时，控制性勘探孔应穿透桩端平面以下压缩层厚度；一般性勘探孔深度宜达到预计的桩端以下（3~5）倍桩径，且不应小于 3m，对于大直径桩不应小于 5m；嵌岩桩的控制性勘探孔应深入预计嵌岩面以下（3~5）倍桩径，一般性勘探孔应深入预计嵌岩面以下（1~3）倍桩径，并应穿过溶洞、破碎带，达到稳定地层。

5.2.14 控制性勘探孔宜为勘探孔总数 $1/3 \sim 1/2$ ，且基坑每一条侧边控制性勘探点的数量不宜少于该侧边勘探点数的 $1/3$ 。

5.2.15 工程地质及水文地质测试应符合 GDJT 001-01-2024 第 8.10.10 条要求。

5.2.16 隧道详勘应根据现场地形地质条件，并重点结合隧道类型、埋深、工法、规模制定勘察方案，

查明隧址的水文地质及工程地质条件，其内容应符合本规范第 5.2.10 条中的相关规定。

5.2.17 勘探测试点应在初步勘察的基础上，根据现场地形地质条件、水文地质、工程地质评价的要求进行加密。

5.2.18 隧道详勘勘探应符合本文件第 5.2.12、5.2.13、5.2.14 条中的相关规定外，尚应符合下列规定：

- a) 钻孔应分段布置，敞开段钻孔宜沿隧道基坑两侧交错布置，封闭段宜沿隧道轴线及其两侧按梅花形布置，钻孔间距应为 15m~25m；
- b) 隧道和围堰勘探应布置横向勘探断面，其间距宜为 25m~50m，地质条件变化复杂时，应加密勘探断面，每条勘探断面上的钻孔不宜少于 2~3 个；
- c) 在覆盖层中，钻孔的勘探深度不宜小于基坑深度的 2.0 倍；在此深度范围内遇基岩，钻孔进入隧道结构底板以下全、强风化岩内的深度不应小于 10m，进入中、微风化岩中的深度不应小于 5m；遇岩溶、软土等不良地质或有降水需要时，勘探深度应适当加深或穿过透水层（含水层）；
- d) 覆盖层为黏性土、粉土、砂土、软土时，应与与静力触探等原位测试方法结合进行综合勘探，静力触探孔应在距钻孔位置不大于 5m 处或两相邻的钻孔间布置。

6 线形与横断面

6.1 一般规定

6.1.1 高速公路、一级公路下沉式明挖隧道应按上、下行分向行驶设计。

6.1.2 公路下沉式明挖隧道设置平曲线及凹型竖曲线路段，必须进行停车视距验算。

6.1.3 公路下沉式明挖隧道建筑限界布置应综合考虑机动车道、非机动车道、人行道和隔离设施等因素确定。

6.2 隧道线性设计

6.2.1 下沉式明挖隧道所在路段的直线、平曲线、缓和曲线、超高、加宽等平面设计应符合现行行业标准 JTG D20 的规定。

6.2.2 下沉式隧道所在路段平纵横线形组合设计应满足行车视距的要求，并保持视线的连续性。

6.2.3 下沉式隧道位于曲线段时，不宜采用设超高和加宽的圆曲线。隧道不设超高的圆曲线最小半径应符合表 3 的规定。隧道平面线形需采用设超高的圆曲线时，其超高值不宜大于 4.0%。当设计速度为 20km/h 时，圆曲线半径不宜小于 250m。

表 4 隧道布设超高的最小圆曲线最小半径

单位为米

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

6.2.4 隧道内纵断面线形应考虑行车安全、运营通风规模、施工作业和排水要求确定，应满足下列要求：

- a) 最小纵坡不应小于 0.3%，最大纵坡不应大于 3%；
- b) 短于 100m 的隧道可不受此限制；
- c) 高速公路、一级公路的中、短隧道，受地形等条件限制时，经技术经济论证、交通安全评价后，隧道最大纵坡可适当加大，但不宜大于 4%，并应加强运营安全措施；

d) 主要服务于城市交通的公路下沉式明挖隧道受建设条件限制，经技术经济论证、交通安全评价后，可按 CJJ 221 有关规定执行。

6.2.5 公路下沉式隧道通行非机动车或行人时，最大纵坡不宜大于 2.5%，但短于 100m 的隧道可不受此限。当条件受限制时，经论证隧道最大纵坡可适当加大，但不应大于 3.5%。

6.2.6 隧道内竖曲线最小半径和最小长度应符合表 4 的规定。

表 5 竖曲线最小半径和最小长度

单位为米

设计速度 (km/h)	120	100	80	60	40	30	20
凸形竖曲线最小半径	17000	10000	4500	2000	700	400	200
凹形竖曲线最小半径	6000	4500	3000	1500	700	400	200
竖曲线最小长度	100	85	70	50	35	25	20

6.2.7 下沉式明挖隧道洞外连接线线形应与隧道线形相协调，隧道封闭段洞口内外侧各 3s 设计速度行程长度范围的平、纵线形应一致。特殊困难地段，经技术经济比较论证后，封闭段洞口内外平曲线可以采用缓和曲线，但应加强线形诱导设施。

6.2.8 下沉式明挖隧道洞口宜在接地口处设置反坡形成排水驼峰，排水驼峰高度应根据排水重现期、地形、道路功能等级等综合确定。

6.2.9 公路下沉式明挖隧道内每条车道的视距应符合 JTG D20 的规定。

6.2.10 公路下沉式明挖隧道封闭段洞口处的停车视距宜采用该路段视距的 1.5 倍。当条件受限时，应对洞口光过渡段进行处理。

6.3 隧道横断面设计

6.3.1 高速公路、控制出入的一级公路严禁在隧道同孔内设置非机动车道和人行道。

6.3.2 不控制出入的一级公路与二至四级公路下沉式明挖隧道可根据需要设置人行道和非机动车道，长度大于 1000m 时，不宜在同孔内设置非机动车道或人行道。

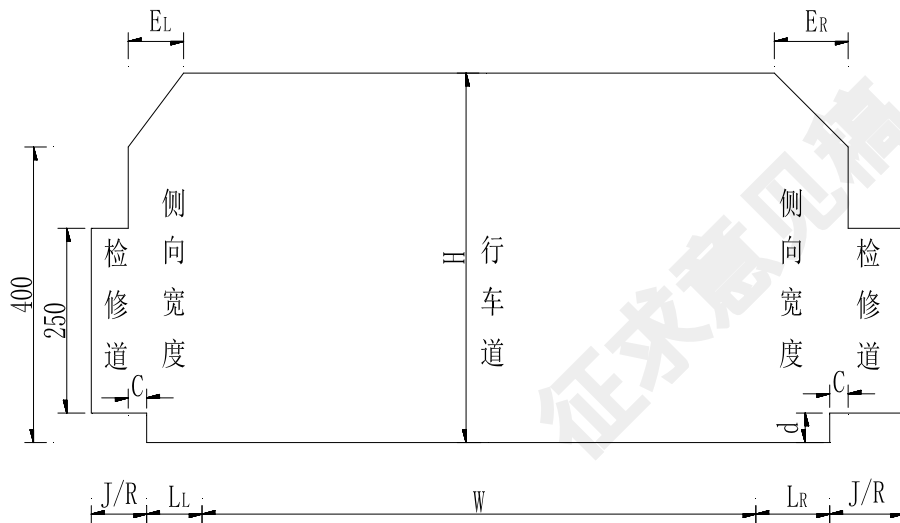
6.3.3 公路下沉式明挖隧道同孔内设置非机动车道或人行道时，应符合下列规定：

- a) 机动车道与非机动车道或人行道间应设置隔离设施；
- b) 隧道检修道宽度满足要求时，可兼作非机动车道或人行道；

- c) 隧道内设置硬路肩且宽度满足要求时，非机动车道或人行道可利用硬路肩；
- d) 隧道洞口内外非机动车道或人行道宽度宜相同，且衔接顺适；
- e) 非机动车道及人行道宽度宜视实际情况确定，具体可参照城市道路设计相关标准规范。

6.3.4 公路下沉式明挖隧道建筑限界如图 1 所示，在建筑限界内不得有任何土建工程部件侵入。各级公路两车道隧道建筑限界宽度应不小于表 5 的基本宽度，并应符合下列规定：

- a) 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；
- b) 设检修道（或兼非机动车道、人行道）时，检修道宜包含余宽；不设置检修道时，应设不小于 0.25m 的余宽；
- c) 隧道路面横坡：隧道为单向交通时，应设置为单面坡；隧道为双向交通时，可设置双面坡；横坡坡率可采用 1.5%~2.0%，宜与洞外路面横坡坡率一致；
- d) 路面采用单面坡时，建筑限界底边线与路面重合；采用双面坡时，建筑限界底边线应水平置于路面最高处；
- e) 单车道四级公路的隧道应按双车道四级公路标准修建；



符号说明：

H—建筑限界高度；

W—行车道宽度；

LL—左侧侧向宽度；

GDJT xxx-xx-20xx

LR—右侧侧向宽度；

C—余宽；

J—检修道宽度；

d—小检修道的高度；

EL—建筑限界左顶角宽度，包含余宽 C；

ER—建筑限界右顶角宽度，包含余宽 C。

注 1：当 $L_L \leq 1m$ 时， $E_L = L_L$ ；当 $L_L > 1m$ 时， $E_L = 1m$ 。

注 2：当 $L_R \leq 1m$ 时， $E_R = L_R$ ；当 $L_R > 1m$ 时， $E_R = 1m$ 。

图 1 公路下沉式隧道建筑限界

表 6 两车道公路隧道建筑限界横断面组成及基本宽度

单位为米

公路等级	设计速度 km/h	车道宽度 W	侧向宽度		余宽 C	检修道宽度 J /人行道宽度 R		建筑限界 基本宽度
			左侧 L_L	右侧 L_R		左侧	右侧	
高速公路 一级公路	120	3.75x2	0.75	1.25	0.50	1.00	1.00	12.50
	100	3.75x2	0.75	1.00	0.25	0.75	0.75	10.75
	80	3.75x2	0.50	0.75	0.25	0.75	0.75	12.25
	60	3.50x2	0.50	0.75	0.25	0.75	0.75	9.75
二级公路	80	3.75x2	0.75	0.75	0.25	1.00	1.00	11.00
	60	3.50x2	0.50	0.50	0.25	1.00	1.00	10.00
三级公路	40	3.50x2	0.25	0.25	0.25	0.75	0.75	9.00
	30	3.25x2	0.25	0.25	0.25	0.75	0.75	8.50
四级公路	20	3.00x2	0.50	0.50	0.25	—	—	7.50

注 1：三车道、四车道隧道除增加车道数外，其他宽度同表 4.4.1；增加车道的宽度不应小于 3.5m。

6.3.5 公路下沉式隧道应在两侧设置检修道，检修道宽度应符合表 6.3.4 的规定；连拱隧道行车方向左侧、四级公路隧道可不设检修道，但应保留不小于 0.25m 的余宽，并应设计防撞措施；设计速度大于 100km/h 时，余宽应不小于 0.5m。检修道的高度可按 250~800mm 取值，并应综合考虑下列因素：

- a) 检修人员步行时的安全；
- b) 满足其下放置电缆、给水管等的空间尺寸要求，以及电缆沟排水空间要求；

c) 紧急情况时, 驾乘人员拿取消防设备方便。

6.3.6 公路下沉式隧道内轮廓净空断面应符合下列要求:

- a) 满足隧道建筑限界所需空间, 预留不小于 50mm 的富余量, 并满足 JTG 2232 要求。
- b) 满足洞内装饰所需空间
- c) 满足通风、照明、消防、监控、指示标志等交通工程及附属设施所需空间。
- d) 断面形状有利于结构受力。

6.3.7 四车道高速公路上的短隧道与城市出入口的中、短隧道, 宜与路基同宽。

6.3.8 公路下沉式明挖隧道洞口外应设计过渡段, 保持横断面的舒适过渡, 过渡段的长度距洞口不宜小于 3S 设计速度行程, 并不小于 50m。

6.4 紧急停车带与横通道设计

6.4.1 特长隧道、长隧道内不设硬路肩或硬路肩宽度小于 2.5m 时, 单洞两车道隧道应设紧急停车带, 单洞三车道隧道宜设紧急停车带, 单洞四车道隧道可不设紧急停车带。

6.4.2 紧急停车带设置应符合下列规定:

- a) 紧急停车带宽度为向行车方向右侧加宽不小于 3.0m, 且紧急停车带宽度与右侧侧向宽度 (L_r) 之和不应小于 3.5m。
- b) 紧急停车带长度不宜小于 50m, 其中有效长度不应小于 40m。
- c) 紧急停车带横坡可取 0~1.0%。
- d) 单向行车隧道紧急停车带设置间距不宜大于 750m, 并不应大于 1000m。
- e) 双向行车隧道紧急停车带应两侧交错设置, 同一侧间距宜采用 800~1200m, 并不应大于 1500m。

6.4.3 紧急停车带建筑限界的构成如图 2 所示, 具体尺寸按本规范第 6.3.4 条和第 6.3.5 条规定执行。

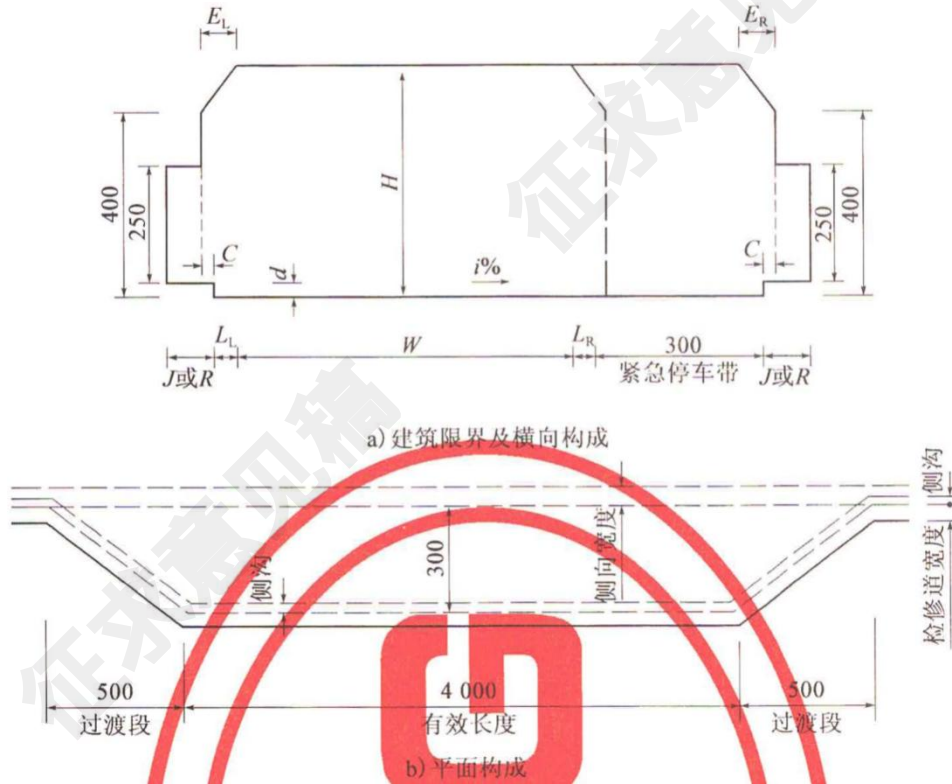


图 2 紧急停车道建筑限界、宽度、长度(单位: cm)

6.4.4 双洞公路下沉式隧道之间应设置横通道或疏散口, 并应符合下列规定:

- a) 人行横通道及人行疏散口建筑限界宽度不得小于 2.0m, 限界高度不得小于 2.5m; 车行横通道及车行疏散口建筑限界宽度不得小于 4.5m, 限界高度应与主洞限界高度保持一致。横通道及疏散口建筑限界如图 3 所示;
- b) 人行横通道或人行疏散口的设置间距宜为 250m, 并不应大于 350m;
- c) 车行横通道或车行疏散口的设置间距宜为 750m, 并不应大于 1000m; 中、短隧道可不设;
- d) 车行横通道的路缘高度 d 宜与隧道行车方向左侧检修道高度一致。

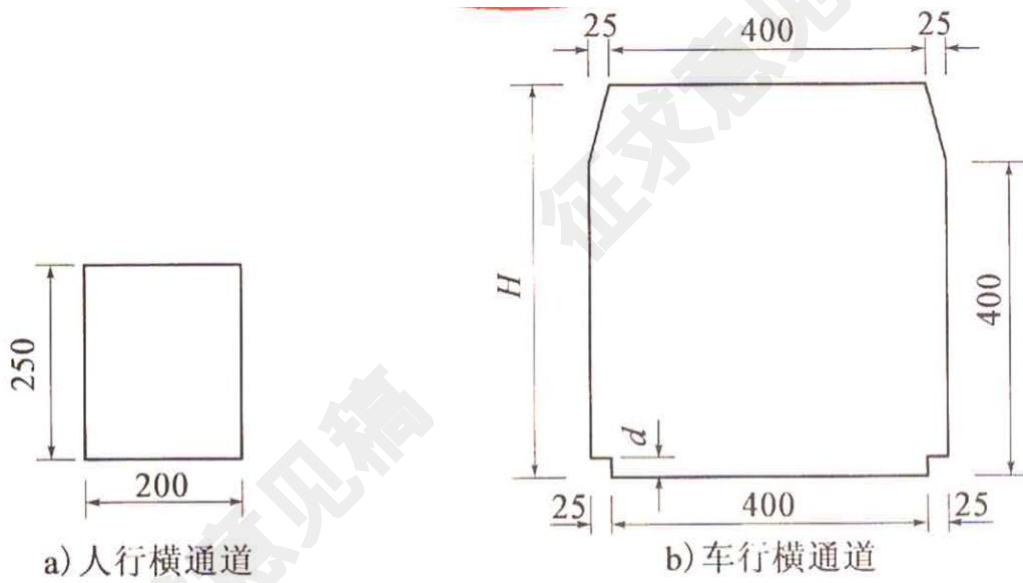


图3 横通道及疏散口建筑限界 (单位: cm)

GDJT xxx-xx-20xx

7 建筑材料

7.1 一般规定

7.1.1 公路下沉式隧道工程常用的各类建筑材料：

- a) 混凝土：C50、C40、C30、C25、C20；
- b) 石材：MU100、MU80、MU60、MU50、MU40；
- c) 水泥砂浆：M25、M20、M15、M10、M7.5；
- d) 喷射混凝土：C40、C30、C25、C20；
- e) 混凝土砌块：MU30、MU20；
- f) 钢筋：HPB300、HRB400、HRB500；
- g) 钢材：Q235、Q345。

7.1.2 公路下沉式隧道工程各部位的建筑材料强度等级不应低于表 7、表 8 的规定。

表 7 主体结构及管沟建筑材料强度等级

工程部位	材料种类	
	混凝土	钢筋混凝土
顶板		C30
侧墙、中隔墙		C30
底板		C30
压重层	C20	
水沟、电缆槽	C25	C25
水沟、电缆槽盖板		C25
垫层	C20	

注：顶板、底板侧墙及中隔墙应采用钢筋混凝土结构

表 8 基坑结构及临时排水建筑材料强度等级

工程部位	材料种类				
	混凝土	钢筋混凝土	喷射混凝土	砌体	钢材
围护结构		C25			Q235
支撑		C25			Q235
系梁		C25			Q235
冠梁		C25			
护坡			C20		
排水沟、截水沟	C20			M7.5 水泥砂浆片石	

7.1.3 建筑材料的选用应符合下列规定：

- a) 应符合结构强度和耐久性要求，同时满足抗冻、抗渗和抗侵蚀的需要。
- b) 当有侵蚀性水作用时，所用混凝土和水泥砂浆均应采用具有抗侵蚀性能的水泥和集料配制，其抗侵蚀性能的要求视水的侵蚀特征确定。

7.1.4 混凝土和砌体所用的材料除应符合国家有关标准的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 不应使用碱活性集料配制混凝土；
- b) 钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C25；预应力混凝土结构的混凝土强度不低于 C30；
- c) 钢筋混凝土构件中，钢筋的技术条件应符合现行 GB 14999.1、GB 14999.2 的规定；
- d) 混凝土砌块强度等级不应低于 MU20。

7.1.5 喷锚支护采用材料除应符合本规范 7.1.1~7.1.4 条的有关规定外，尚应符合下列规定：

- a) 喷射混凝土应优先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；
- b) 粗集料应采用坚硬耐久的碎石或卵石，不得使用碱活性材料；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；集料级配宜采用连续级配，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%；
- c) 成孔注浆土钉杆体材料宜采用 HRB400、HRB500 热轧带肋钢筋；
- d) 钢管土钉的材料宜采用 Q345 结构用无缝钢管，符合现行 GB/T 8162 的规定；
- e) 钢筋网材料可采用 HPB300 热轧光圆钢筋。

7.1.6 公路下沉式隧道内路面材料应符合现行 JTG D50 及 JTG D40 的有关规定。

7.1.7 公路下沉式隧道内防水材料应符合现行 GB 50108 的规定。防水材料可选用防水卷材、防水涂料、水泥砂浆、中埋式止水带、防水混凝土等。

7.1.8 防水卷材及其胶黏剂应具有良好的耐水性、耐久性、耐穿刺性、耐腐蚀性和耐菌性。

7.1.9 涂料防水层的选择应符合下列规定：

- a) 水泥基渗透结晶型防水涂料及聚合物水泥防水涂料可用于潮湿基层；
- b) 聚合物水泥防水涂料宜使用聚丙烯酸酯乳液配制，并应符合耐水性要求；

GDJT xxx-xx-20xx

- c) 非固化橡胶沥青防水涂料宜与沥青类防水卷材叠合使用；
- d) 严禁直接在聚氨酯、聚合物水泥及喷涂聚脲等柔性涂料防水层上热熔施工防水卷材。

7.1.10 防水砂浆应包括聚合物水泥防水砂浆、掺外加剂或掺合料的防水砂浆，宜采用多层抹压法施工。

7.1.11 公路下沉式隧道内无纺布宜采用聚丙烯针刺非织造土工布。

7.2 结构材料

7.2.1 常用建筑材料的重度应按表 9 的规定采用。

表 9 建筑材料标准重度或计算重度

单位为千牛/米³

材料名称	混凝土	片石混凝土	钢筋混凝土(配筋率在 3%以内)	喷射混凝土	钢材	浆砌片石	浆砌块石	浆砌粗料石
重度	23	23	25	22	78.5	22	23	25

7.2.2 混凝土强度标准值应按表 10 的规定采用。

表 10 混凝土强度标准值

单位为兆帕

强度种类	混凝土强度等级						
	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压强度 f_{ek}	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4
弯曲抗压强度 f_{emb}	15	18.5	22	26	212.5	32.5	36
轴心抗拉强度 f_{etk}	1.54	1.78	2.01	2.2	2.39	2.51	2.64

注 1: 混凝土垂直浇筑，且一次浇筑层高度大于 1.5m 时，表中强度值应乘以系数 0.9；

注 2: 计算现浇钢筋混凝土轴心受压构件时，截面中的边长或直径小于 30cm，表中强度值应乘以系数 0.8。

7.2.3 混凝土强度标准值应按表 11 的规定采用。

表 11 混凝土强度标准值

单位为兆帕

强度种类	混凝土强度等级						
	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
轴心抗压强度 f_{cd}	9.6	11.9	14.3	16.7	19.2	21.1	23.1
弯曲抗压强度 f_{cmd}	11.0	13.5	16.5	19	21.5	24	27.5
轴心抗拉强度 f_{ctd}	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.8	1.89

GDJT xxx-xx-20xx

7.2.4 混凝土极限强度值应按表 12 的规定采用。

表 12 混凝土极限强度值

单位为兆帕

强度种类	混凝土强度等级						
	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
抗压强度 R_c	15.5	19.0	22.5	26.3	31.5	36.5	41.5
弯曲抗压强度 R_{bc}	112.4	138.0	163.6	189.2	214.8	240.4	266.0
轴心抗拉强度 R_t	1.7	2.2	2.7	3.2	3.7	4.2	4.7

注：片石混凝土的抗压极限强度可采用表中数值。

7.2.5 混凝土弹性模量应按表 13 的规定采用，混凝土剪切模量可按表列数值乘以 0.43 采用，泊松比可采用 0.2。

表 13 混凝土弹性模量

单位为吉帕

混凝土强度等级	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
弹性模量 E_c	25.5	28	30	31.5	32.5	33.5	34.5

7.2.6 喷射混凝土强度设计值应按表 14 的规定采用；喷射混凝土弹性模量应按表 15 的规定采用。

表 14 喷射混凝土强度设计值

单位为兆帕

强度种类	混凝土强度等级				
	C20	C25	C30	C35	C40
轴心抗压	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1
弯曲抗压	11.0	13.5	16.0	-	-
轴心抗拉	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71

注 1：喷射混凝土的强度指采用喷射大板切割法，制作成边长为 10cm 的立方体试块，在标准条件下养护 28d，用标准试验方法所得的极限抗压强度乘以系数 0.95；
注 2：黏结力可采用劈裂法或在喷层上直接拉拔测定。

表 15 混凝土弹性模量

单位为吉帕

混凝土强度等级	C20	C25	C30	C35	C40
弹性模量 E_c	23	26	28	30	31.5

7.2.7 C20 喷射混凝土极限强度可采用：轴心抗压 15MPa；弯曲抗压 18MPa；抗拉 1.3MPa。

GDJT xxx-xx-20xx

7.2.8 钢筋抗拉和抗压强度设计值应按表 16 的规定采用。

表 16 钢筋抗拉和抗压强度设计值

单位为兆帕

钢筋牌号	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

7.2.9 钢筋弹性模量、最大力下的总伸长率应按表 17 的规定采用。

表 17 钢筋弹性模量、最大力下的总伸长率

钢筋牌号	HPB300	HRB400	HRB500
弹性模量 E_s (Mpa)	210	200	200
最大力下的总伸长率 (%)	10	7.5	7.5

7.2.10 钢筋屈服强度标准值、极限强度标准值、抗拉或抗压强度标准值可按表 18 的规定采用。

表 18 钢筋屈服强度标准值、极限强度标准值、抗拉或抗压强度标准值

单位为兆帕

钢筋牌号	HPB300 ($d=6\sim 22\text{mm}$)	HRB400 ($d=6\sim 50\text{mm}$)	HRB500 ($d=6\sim 50\text{mm}$)
屈服强度标准值 f_{yk}	300	400	500
极限强度标准值 f_{stk}	420	540	630
抗拉或抗压强度标准值 R_u	300	400	500

注：表中 d 为钢筋直径。

7.2.11 钢材的设计强度指标，应根据钢材牌号、厚度或直径按表 19 采用。

表 19 钢材的设计强度指标

单位为兆帕

钢材牌号		钢材厚度或直径(mm)	强度设计值			屈服强度 f_y	抗拉强度 f_u
			抗拉、抗压、 抗弯 f	抗剪 f_v	断面承压（刨平顶紧） f_{cc}		
碳素结构钢	Q235	≤ 16	215	125	320	235	370
		$> 16, \leq 40$	205	120		225	
		$> 40, \leq 100$	200	115		215	
低合金高强度结构钢	Q355	≤ 16	305	175	400	345	470
		$> 16, \leq 40$	295	170		335	

		>40, \leq 63	290	165		325		
		>63, \leq 80	280	160		315		
		>80, \leq 100	270	155		305		
	Q3 90		\leq 16	345	200	415	390	490
			>16, \leq 40	330	190		370	
			>40, \leq 63	310	180		350	
			>63, \leq 100	295	170		330	
	Q4 20		\leq 16	375	215	440	420	520
			>16, \leq 40	355	205		400	
			>40, \leq 63	320	185		380	
			>63, \leq 100	305	175		360	
	Q4 60		\leq 16	410	235	470	460	550
			>16, \leq 40	390	225		440	
			>40, \leq 63	355	205		420	
			>63, \leq 100	340	195		400	

注1: 表中直径指实芯棒材直径, 厚度系指计算点的钢材或钢管壁厚度, 对轴心受拉和轴心受压构件系指截面中较厚板件的厚度;

注2: 冷弯型材和冷弯钢管, 其强度设计值应按国家现行有关标准的规定采用。

7.3 防水材料

7.3.1 常见防水卷材主要性能指标可按表 20、表 21、表 22 的规定采用。

表 20 高聚物改性沥青防水卷材主要性能指标

项 目	性能指标			
	聚酯胎 PY		玻纤胎 G	
	I 型	II 型	I 型	II 型
可溶物含量 (g/m ²)	\geq 2100 (3mm 厚) \geq 2900 (4mm 厚)			
拉力 (N/50mm)	\geq 500	\geq 800	\geq 350	\geq 500
延伸率 (%)	\geq 30 (SBS) \geq 25 (APP)	\geq 40 (SBS) \geq 40 (APP)	—	
耐热度	90℃ (SBS) 110℃ (APP)	105℃ (SBS) 130℃ (APP)	90℃ (SBS) 110℃ (APP)	105℃ (SBS) 110℃ (APP)
	无滑动、无流淌、无滴落			

GDJT xxx-xx-20xx

低温柔度	-20℃ (SBS) -7℃ (APP)	-25℃ (SBS) -15℃ (APP)	-20℃ (SBS) -7℃ (APP)	-25℃ (SBS) 15℃ (APP)
	无裂纹			
不透水性	0.3 MPa, 30min, 不透水		0.2MPa, 30min, 不透水	

表 21 自粘改性沥青防水卷材主要性能指标

项 目		性能指标						
		无胎体 (N 类)					聚酯胎 (PY 类)	
		聚乙烯膜 PE		聚酯膜 PET		无膜 双面自粘 D		
		I	II	I	II		I	II
可溶物 含量 (g/m ²)	2mm	---					≥1300	---
	3mm						≥2100	
	4mm						≥2900	
拉力 (N/50mm)	2mm	≥150	≥200	≥150	≥200	---	≥350	---
	3mm						≥450	≥600
	4mm						≥450	≥800
沥青断裂延伸率 (%)		≥250		≥150		≥450	---	
最大拉力时延伸率 (%)		---					≥30	≥40
耐热性		70℃, 滑动不超过 2mm					70℃, 无滑动、无流淌、无滴落	
低温柔性 (℃)		-20	-30	-20	-30	-20	-20	-30
		无裂纹					无裂纹	
不透水性		0.2 MPa, 120 min, 不透水				---	0.3 MPa, 120min, 不透水	
持粘性, min		≥20					≥15	
卷材与卷材剥离强度 (N/mm)		≥1.0					≥1.0	
卷材与铝板剥离强度 (N/mm)		≥1.5					≥1.5	

表 22 湿铺防水卷材主要性能指标

项 目		性能指标		
		高强度高分子膜 (H 类)	高延伸高分子膜 (E 类)	聚酯胎基 (PY 类)
可溶物含量, g/m ²		-		≥2100
拉伸性能	拉力, N/50mm	≥300	≥200	≥500
	最大拉力时伸长率, %	≥50	≥180	≥30
	拉伸时现象	胶层与高分子膜或胎基无分离现象		
撕裂力, N		≥20	≥25	≥200
耐热性		70℃, 2h 无流淌、滴落、滑移≤2mm		
低温柔性, ℃		-20, 无裂纹		

GDJT xxx-xx-20xx

不透水性	0.3MPa 120min 不透水
渗油性, 张数	≤2
持粘性, min	≥30
卷材与卷材剥离强度(搭接边)/(N/mm)	≥1.0

7.3.2 水泥基渗透结晶型防水涂料主要性能指标可按表 23 规定采用。

表 23 水泥基渗透结晶型防水砂浆主要性能指标

试 验 项 目		性能指标
含水率/%		≤1.5
28d抗折强度 /MPa		≥2.8
28d抗压强度 /MPa		≥15.0
28d湿基面粘结强度/MPa		≥1.0
28d砂浆抗渗性能	基准砂浆/MPa	0.4+0.0 -0.1
	带涂层的砂浆/MPa	≥1.0
	抗渗压力比(带涂层)/%	≥250
	去除涂层的砂浆a /MPa	≥0.7
	抗渗压力比(去除涂层)/%	≥175
28d混凝土抗渗性能	基准混凝土/MPa	0.4+0.0 -0.1
	带涂层混凝土/MPa	≥1.0
	渗透压力比(带涂层)/%	≥250
	去除涂层混凝土/MPa	≥0.7
	渗透压力比(去除涂层)/%	≥175
56d带涂层混凝土第二次抗渗压力/MPa		≥0.8

7.3.3 刚性防水材料聚合物水泥防水砂浆主要性能指标可按表 24 规定采用。

表 24 聚合物水泥防水砂浆主要性能指标

项 目		性能指标
凝结时间	初凝 min	≥45
	终凝h	≤24
抗渗压力 (MPa)	涂层 7d	≥0.4

	砂浆 7d	≥ 0.8
	砂浆 28d	≥ 1.5
柔韧性（横向变形能力），mm		≥ 1.0
抗折强度（MPa）	28d	≥ 6.0
抗压强度（MPa）	28d	≥ 18.0
粘结强度（MPa）	7d	≥ 0.8
	28d	≥ 1.0
收缩率（%）	28d	≤ 0.30

7.3.4 止水带主要技术指标可按表 25 规定采用。

表 25 止水带主要性能指标

项 目	性能指标			
	B型（用于变形缝）	S型（用于施工缝）	J（用于特殊耐老化接缝）	
			JX	JY
邵尔 A 硬度（度）	60±5			40~70
拉伸强度（MPa）	≥ 10		≥ 16	≥ 16
拉伸伸长率（%）	≥ 380		≥ 400	≥ 400
压缩永久变形（%）	70℃×24h, 25%	≤ 35	≤ 30	≤ 30
	23℃×168h, 25%	≤ 20	≤ 20	≤ 15
撕裂强度（kN/m）	≥ 30		≥ 30	≥ 20
热空气老化（70℃×168h）	邵尔 A 硬度变化（度）	$\leq +8$	$\leq +6$	$\leq +10$
	拉伸强度（MPa）	≥ 9	≥ 13	≥ 13
	扯断伸长率（%）	≥ 300	≥ 320	≥ 300

7.3.5 橡胶止水带的外观质量、尺寸偏差和物理性能应符合现行 GB 18173.2 的规定。

8 隧道结构荷载与计算

8.1 一般规定

8.1.1 基坑支护结构设计应考虑下列荷载：

- a) 土压力、水压力及浮力；
- b) 地面堆载及大型车辆的荷载；
- c) 对基坑侧壁有影响的周边建（构）筑物的荷载；
- d) 施工荷载及邻近场地施工的影响；
- e) 支护结构作为主体结构一部分时主体结构荷载产生的偏心受压作用。

8.1.2 透水性强的土宜按水土分算方法计算侧压力，透水性弱的土可按水土合算方法计算侧压力。

8.1.3 支护结构水平荷载标准值的计算模式：当进行支护结构内力和变形计算时，应按本规范附录 A 增量法的荷载模式；当进行支护结构稳定计算时，宜采用朗肯的三角形分布的主动和被动土压力模式。

8.1.4 公路下沉式隧道衬砌结构设计计算方法的选择应符合下列规定：

- a) 根据施工方法、结构或构件类型、地质条件、周边建筑物等因素选择合适的计算方法；
- b) 采用明挖法施工的衬砌结构应按照概率极限状态法进行设计计算。

8.1.5 公路下沉式隧道结构计算应符合下列规定：

- a) 对施工或使用期间永久荷载、可变荷载和偶然荷载，应按满足承载能力和正常使用的要求分别进行组合，并按最不利荷载进行选取；
- b) 隧道结构和构件按承载能力要求设计时，应进行承载能力计算和整体稳定性(倾覆、滑动、漂浮)计算；
- c) 隧道结构和构件按正常使用要求设计，应进行变形和裂缝宽度计算。

8.2 隧道结构荷载

8.2.1 公路下沉式隧道结构上的荷载应按表 26 的规定分类。

表 26 公路下沉式隧道结构上的荷载分类

编号	荷载分类		荷载名称
1	永久荷载		地层压力
2			静水压力及浮力
3			结构自重
4			结构附加恒载
5			隧道上部和破坏棱体范围的设施及建筑物压力
6			混凝土收缩及徐变影响
7	可变荷载	基本可变荷载	地面车辆荷载，人群荷载
8			地面车辆荷载引起的侧向压力
9		隧道内部车辆荷载	
10	其他可变荷载		施工荷载
11			温度变化影响
12			车辆撞击力
13	偶然荷载		地震荷载

8.2.2 永久荷载标准值计算应符合下列规定：

- a) 隧道结构自重按结构设计尺寸及材料标准重度计算，结构附加恒载应按实际情况计算；
- b) 隧道竖向地层压力应按计算截面全部上覆土压力考虑，同时应结合地面及邻近的其他荷载对竖向压力的影响进行计算；
- c) 隧道可能产生偏压时，应根据偏压状态和程度采取相应的治理措施，并在荷载组合与分布中加以考虑；
- d) 荷载计算中应计及地面荷载、破坏棱体范围的建筑物和施工机械等引起的附加水平侧压力；
- e) 公路下沉式隧道的基坑支护结构及其主体结构，施工阶段作用在主动区的土压力宜按主动土压力计算，在支护结构的非脱离区或给支护结构施加预应力时应计入土体抗力的作用；公路下沉式隧道结构长期使用阶段结构承受的水平土压力宜按静止土压力计算。

8.2.3 可变荷载标准值计算应符合下列规定：

- a) 在道路下方的公路下沉式隧道，根据下穿道路等级，汽车荷载及其动力作用，应按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的有关规定计算；

b) 地面超载一般可按 20kPa 考虑，如有大型施工机械作业区、施工堆载或其他特殊情况，应根据实际情况计算；

c) 变形受到约束的公路下沉式隧道结构，应考虑混凝土收缩徐变和温度变化对结构的影响。温度变化影响应根据所处地区的气温条件、运营环境及施工条件确定。

8.2.4 偶然荷载标准值计算应符合下列规定：

a) 地震荷载计算应符合国家现行标准《地下结构抗震设计标准》GB/T 51336、《公路隧道抗震设计规范》JTG 2232 的相关规定；

b) 人防荷载计算应符合国家现行标准《人民防空工程设计规范》GB 50225 相关规定。

受温度影响显著或截面厚度大的超静定结构应考虑温度变化和混凝土收缩的影响。隧道各部构件受温度变化影响产生的变形值，应根据气温情况和施工条件所确定的温度变化值按下式计算：

$$\Delta l = l \Delta t \alpha \quad (1)$$

式中：

Δl ——温度变化引起的变形值 (m)；

Δt ——温度变化值 (°C)；

l ——构件的计算长度 (m)；

α ——材料的线膨胀系数，钢筋混凝土和混凝土取 1.0×10^{-5} 。

8.2.5 对施工或使用期间永久荷载、可变荷载和偶然荷载，应按满足承载能力和正常使用的要求分别进行组合，并按最不利荷载进行选取。

8.2.6 荷载应根据隧道所处的地形、地质条件、埋置深度、支护条件、施工方法、相邻隧道间距等因素，按有关公式或按工程类比确定。在施工和实地量测中发现其与实际不符时，应及时修正。

8.3 隧道结构计算

8.3.1 公路下沉式隧道结构计算时应先按地层分类法或由实用公式确定地层压力，然后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。计算方法采用本规范附录 D 的荷载结构法。

8.3.2 计算作用于顶板上的荷载，分别需要计算永久荷载（包括有顶板以上的覆土压力、水压

力和顶板自重)、可变荷载 q 以及偶然荷载 q' 。作用于顶板上的荷载按下式计算(图4)。

a) 基本组合:

$$q_{\text{顶板}} = q_{\text{土}} + q_{\text{水}} + q_{\text{自重}} + q \quad (2)$$

式中:

q ——作用于顶板的可变荷载。

b) 偶然组合、标准组合以及准永久组合:

$$q_{\text{顶板}} = q_{\text{土}} + q_{\text{水}} + q_{\text{自重}} + q + q'_{\text{顶板}} \quad (3)$$

式中:

$q'_{\text{顶板}}$ ——作用于顶板的偶然荷载。

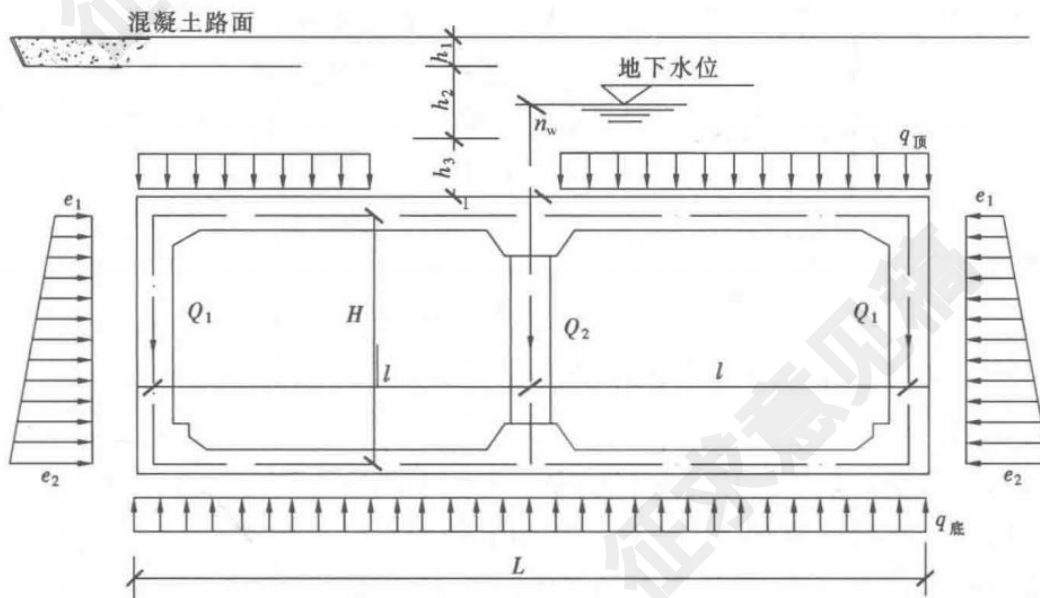


图4 结构计算简图

各分量的计算应符合下列规定:

a) 计算公路下沉式隧道结构的覆土压力,应计算结构范围内顶板以上各层土壤(包括路面材料)的重量之和,除以顶板的承压面积。如果某层土壤处于地下水中,则该层土壤的重度 γ_i 采用浮重度是 γ'_i 。计算覆土压力的表达式为:

$$q_{\pm} = \sum_i \gamma_i h_i \quad (4)$$

式中：

γ_i ——第 i 层土壤（或路面材料）的重度；

h_i ——第 i 层土壤（或路面材料）的厚度。

b) 计算水压力的表达式为：

$$q_{\text{水}} = \gamma_w h_w \quad (5)$$

式中：

γ_w ——水的重度；

h_w ——地下水水面至顶板表面的距离。

c) 计算顶板自重的表达式为：

$$q_{\text{自重}} = \gamma d \quad (6)$$

式中：

γ ——顶板材料的重度；

d ——顶板的厚度。

8.3.3 计算作用于底板上的荷载，考虑到公路下沉式隧道的结构刚度较大，地基相对松软，可假定地基反力呈直线分布。作用于底板上的荷载按下式计算（图 4）：

a) 基本组合：

$$q_{\text{底板}} = q_{\text{顶板}} + \frac{\sum G}{L} \quad (7)$$

式中：

$\sum G$ ——结构顶板以下，底板以上的边墙及中隔墙等的重量；

L ——结构横断面的宽度。

b) 偶然组合、标准组合以及准永久组合：

$$q_{\text{底板}} = q_{\text{顶板}} + \frac{\sum G}{L} + q'_{\text{底板}} \quad (8)$$

式中：

$q'_{\text{底板}}$ ——作用于底板的偶然荷载。

8.3.4 计算作用于侧墙上的荷载，应考虑所有土层的侧向压力、水压力及偶然荷载。宜采用矩形闭合框架的计算简图（图4），计算公式如下（图4）：

a) 基本组合：

$$q_{\text{侧墙}} = e + e_w \quad (9)$$

b) 偶然组合、标准组合以及准永久组合：

$$q_{\text{侧墙}} = e + e_w + q'_{\text{侧墙}} \quad (10)$$

式中：

$q'_{\text{侧墙}}$ ——作用于侧墙的偶然荷载。

各分量的计算应符合下列规定：

c) 施工阶段作用在主动区的土压力宜按主动土压力计算，计算公式如下：

$$e_{aik} = \sigma_{ik} K_{ai} - 2c_i \sqrt{K_{ai}} \quad (11)$$

$$K_{ai} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right) \quad (12)$$

式中：

σ_{ik} ——计算点处的竖向应力标准值（kPa）；

e_{aik} ——计算点处的水平荷载标准值（kPa）；

c_i ——第*i*层土的粘聚力标准值（kPa）；

K_{ai} ——第*i*层土的主动土压力系数；

φ_i ——第*i*层土的内摩擦角标准值（°）。

d) 长期使用阶段结构承受的土压力宜按静止土压力计算。静止土压力系数 K_0 可在侧压力仪或有特殊装置的三轴压缩仪中测定，在无试验条件下，可用下列经验公式计算：

$$K_0 = 1 - \sin \varphi' \quad (13)$$

式中：

φ' ——土的有效内摩擦角（°）。

e) 侧向水压力按下式计算：

$$e_w = \psi \gamma_w h \quad (14)$$

GDJT xxx-xx-20xx

式中：

ψ ——折减系数，根据土层透水性确定，对于砂土取 1.0，对于黏土取 0.7；

h ——从地下水表面至计算点的距离。

8.3.5 公路下沉式隧道结构宜按底板支承在弹性地基上的结构计算：采用沿纵向单位长度、按底板支承在弹性地基上的平面应变模型进行分析，并按照围护与内部结构之间构造型式和结合情况，选用与其受力特征相符的计算模型。

8.3.6 对于底板设置抗拔桩的隧道结构，可将抗拔桩的作用效果用等效的支承弹簧来代替，弹簧刚度即为桩的轴向刚度。

8.3.7 明挖隧道结构的计算模型应根据地层特性、施工阶段、结构构造特点及施工工艺等确定，宜反映实际工作条件以及土体与结构的相互作用。当结构建造及运营过程中受力体系和荷载形式等有较大变化时，宜根据构件的施作顺序及受力条件，按结构的实际受力过程及结构体系变化的连续性进行结构分析。

8.3.8 公路下沉式隧道封闭段结构计算应符合下列规定：

a) 对长条形钢筋混凝土框架结构的封闭段结构，可沿纵向取单位长度按底板支承在弹性地基上的平面框架分析，按照围护与内衬结构之间的构造型式和结合情况，选用与其受力特征相符的计算模型。

b) 遇下列情况时宜按空间分析：

- 1) 覆土厚度沿纵向有较大变化时；
- 2) 结构直接承受建、构筑物等较大局部荷载时；
- 3) 结构型式有较大变化处；
- 4) 空间受力作用明显处。

8.3.9 公路下沉式隧道引道段结构计算应符合下列规定：

a) 对 U 形钢筋混凝土结构的引道段，可沿纵向取单位长度按底板支承在弹性地基上的平面应变模型进行计算，以支承弹簧模拟地基反力或抗拔桩；

b) 对放坡加混凝土底板结构的引道段，可采用圆弧滑动条分法进行边坡的抗滑稳定计算，并考虑渗流对边坡稳定的影响。

9 主体结构设计

9.1 一般规定

9.1.1 隧道结构应满足施工、运营、抗震、防排水、防腐和防火要求，并具有足够的耐久性，以满足使用期需要，做到安全、经济、适用、可行。同时应尽可能减小对周边环境的影响，应充分考虑隧道可能遭遇的各种灾害及对策措施，全面提高隧道的防灾、减灾和救灾能力。

9.1.2 工程材料根据结构类型、受力条件、使用要求和所处环境等选用，并考虑经济性、可靠性和耐久性。

9.1.3 隧道处于软弱土、液化土等不利地段时，应对隧道结构抗震稳定性进行分析，并提出合理的处治措施。

9.1.4 隧道结构应进行承载能力极限状态设计和正常使用极限状态设计。承载能力极限状态主要是指结构的强度破坏，正常使用极限状态主要包括影响正常使用的结构开裂和变形等。

9.1.5 隧道的结构形式应根据隧道跨度、覆盖层厚度、地质条件及使用功能确定，可采用矩形结构、拱形结构、单孔结构及多孔结构等，并宜符合下列规定：

- a) 宜采用矩形断面结构，埋深大于 5m 时可采用拱形断面结构或空间箱型断面结构。
- b) 为双向行车时，宜采用双孔结构；车道数较多及市政管廊功能时可根据功能分区采用多孔结构。

9.2 结构设计

9.2.1 结构构件的截面承载力应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG3362）、《钢结构设计标准》（GB50017）的规定计算。

9.2.2 隧道主体结构封闭段采用钢筋混凝土整体闭合式框架结构，敞开段采用钢筋混凝土 U 型槽框架结构，结构内壁在角隅处宜设置 1:3 倒角，并设置抗裂钢筋。两孔结构断面如图 5，两孔结构断面尺寸如表 27。

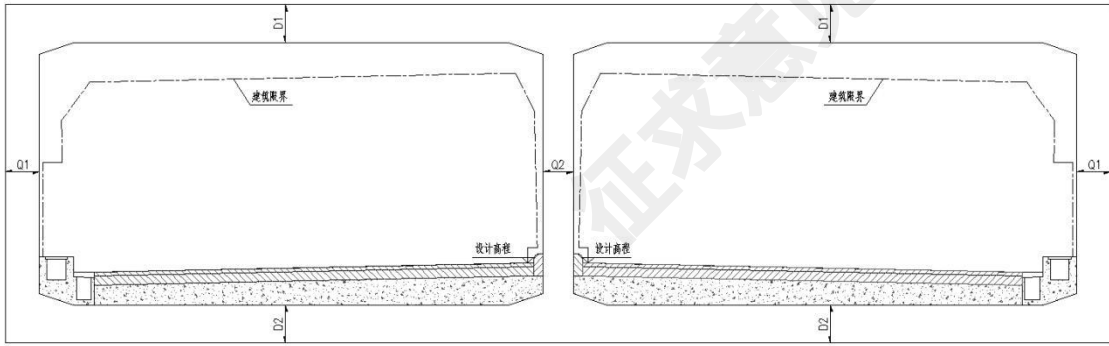


图 5 隧道结构横断面布置图

表 27 结构截面尺寸表

单位为毫米

名称	顶板 D1	底板 D2	侧墙 Q1	中隔墙 Q2
两车道	800	800	700	600
三车道	1000	1000	900	800
四车道	1200	1200	1000	800

注 1: 适用于两孔结构断面形式。
注 2: 适用于顶板覆土厚度不大于 2m。

9.2.3 位于非岩石地基上的隧道，主体结构宜每隔 30~40m 设置一道变形缝，敞开段段变形缝间距不应超过封闭段。设置位置应同时考虑覆土荷载变化、地质变化、基底压力变化、存在雨水泵房等附属结构及其他较大结构型式变化。

9.2.4 大体积浇筑的混凝土应避免采用高水化热水泥，并宜减少水泥用量，掺入高效减水剂、优质粉煤灰或粒化高炉矿渣粉等，限制水胶比和控制混凝土入模温度。

9.2.5 钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率应符合下列要求：

- a) 受拉主筋宜少设接头，设置接头时一般不宜设置在端部及跨中，宜设置在受力较小区段，并错开布置。
- b) 受拉主筋应采用焊接或机械连接，不应采用绑扎连接，其他钢筋采用绑扎连接时，钢筋直径不宜大于 28mm。

- c) 钢筋的连接接头应相互错开，连接区段长度为 $35d$ （较大钢筋直径）且不小于 500mm ，接头中点位于该区段内的均属于同一连接区段。
- d) 同一连接区段内的受拉钢筋接头面积百分率不应大于 50% 。
- e) 钢筋连接的其他要求应符合现行《混凝土结构设计规范》（GB 50010）的相关规定。

9.2.6 施工缝设置在剪力较小且施工难度低的位置，隧道顶、底板不宜设置纵向施工缝。

9.2.7 钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率应符合下列要求：

- a) 受弯构件、偏心受拉构件及轴心受拉构件的一侧受拉钢筋的配筋百分率不应小于 f_{td}/f_{sd} ，同时不应小于 0.2 ；
- b) 轴心受压构件、偏心受压构件全部纵向钢筋的配筋百分率不应小于 0.55 ，当混凝土强度等级 C60 及以上时不应小于 0.65 ；同时，一侧钢筋的配筋百分率不应小于 0.2 。当大偏心受拉构件的受压区配置按计算需要的受压钢筋时，其配筋百分率按受压构件一侧纵向钢筋考虑；
- c) 轴心受压构件、偏心受压构件全部纵向钢筋的配筋百分率和一侧纵向钢筋（包括大偏心受拉构件受压钢筋）的配筋百分率及轴心受拉构件及小偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋百分率应按构件的全截面面积计算。受弯构件、大偏心受拉构件的一侧受拉钢筋的配筋百分率为 $100A_s/bh_0$ ，其中 A_s 为受拉钢筋截面面积， b 为腹板宽度， h_0 为有效高度。当钢筋沿构件截面周边布置时，“一侧的纵向钢筋”系指受力方向两个对边中的一边布置的纵向钢筋；
- d) 钢筋连接宜采用机械连接或焊接。机械连接接头及焊接接头的类型及质量应符合国家现行有关标准的规定。混凝土结构中受力钢筋的连接接头宜设置在受力较小处并宜错开布置。当施工或构造条件有困难时，除轴心受拉和小偏心受拉构件纵向受力钢筋外，也可采用绑扎接头。绑扎接头的钢筋直径对受拉钢筋不宜大于 25mm ，受压钢筋不宜大于 28mm 。

9.2.8 钢筋混凝土构件中钢筋净保护层最小厚度不应小于钢筋公称直径且应符合表 28 的相关规定

表 28 钢筋混凝土保护层最小厚度

单位为毫米

环境作用等级	钢筋混凝土构件
I-A、I-B	30
I-C、II-C、III-C、IV-C、VI-C	40
II-D、III-D、IV-D、V-D、VI-D	45
II-E、III-E、IV-E、V-E、VI-E	50
III-F、V-F、VI-F	55

注 1: 隧道顶、底板及侧墙迎土侧保护层厚度不应少于 45mm，内侧不应少于 35mm。

注 2: 当采用的混凝土强度等级比规定的最小等级低时，适当增加保护层厚度，低一个等级应增加 5mm，低两个等级应增加 10mm。当采用的混凝土强度等级比规定的最小等级高时，保护层厚度可最多减小 5mm，且不小于 20mm。

注 3: 直接接触土体浇筑的混凝土构件，保护层厚度不得小于 70mm。

注 4: 受力钢筋保护层厚度大于 50mm 时，宜在保护层中增加防裂钢筋网片，钢筋网片的保护层厚度不应小于 25mm。

注 5: 环境作用等级应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG / T 3310) 相关规定。

9.2.9 钢筋混凝土构件的最大裂缝宽度限值应符合表 29 的相关规定

表 29 钢筋混凝土构件最大裂缝宽度限值

单位为毫米

环境作用等级	最大裂缝宽度 (mm)
I-A、I-B、II-C	0.20
I-C、II-D、III-C、III-D、IV-C、IV-D、V-D、IV-C	0.15
II-E、III-E、III-F、IV-E、V-E、V-F、IV-D、IV-E、IV-F	0.10

注 1: 最大裂缝宽度计算过程中保护层实际厚度大于 30mm 时，保护层厚度按 30mm 取值进行裂缝计算。

注 2: 环境作用等级应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG / T 3310) 相关规定。

9.2.10 钢筋混凝土构件按基本组合计算的最大挠度限值应符合表 30 的相关规定

表 30 受弯构件的容许挠度

构件类型		容许挠度(m)
结构跨度	$B_0 \leq 5m$	$L_0/250$

	$5\text{m} < B_0 \leq 8\text{m}$	$L_0/300$
	$B_0 > 8\text{m}$	$L_0/400$

9.2.11 隧道主体结构抗震设计应符合现行《公路隧道抗震设计规范》(JTG 2232)的规定。

9.2.12 排水泵房、楼梯间及配电房等附属结构宜结合其使用功能和周边环境确定结构方案,可采取隧道主体结构外挂的形式,也可采取与主体结构合建的方式。

9.2.13 隧道采用纵向机械通风方式,风机安装位置宜局部加高顶板,相交角度不大于 30° 平顺过渡。

9.3 抗浮设计

9.3.1 抗浮设防水位应根据施工期和使用期选择相应工况适用的最高地下水位。

9.3.2 隧道抗浮稳定性应按式(50)、式(51)和式(52)进行验算:

$$\text{抗浮稳定性系数: } K_f = \frac{\sum W}{\sum U} \quad (50)$$

$$\text{抗浮力: } \sum W = W_s + W_a + F_z \quad (51)$$

$$\text{上浮力: } \sum U = \gamma_w \Delta h_w A \quad (52)$$

式中:

K_f ——抗浮稳定性系数;

$\sum W$ ——抗浮力(kN);

$\sum U$ ——上浮力(kN);

W_s ——隧道结构自重标准值(kN);

W_a ——隧道覆土的有效压重标准值(kN);

F_z ——抗浮措施提供的抗浮力标准值(kN);

γ_w ——地下水重度(kN/m^3),可按 $10\text{kN}/\text{m}^3$ 采用。

Δh_w ——抗浮设防水位与隧道底板底的高差(m);

A ——隧道计算区域的底板面积。

9.3.4 隧道抗浮稳定安全系数,施工期抗浮稳定安全系数不应小于 1.05;使用期抗浮稳定安全系数不应小于 1.1。

9.3.5 桩基布置应有利于隧道主体结构的受力,并应符合下列规定:

a) 敞开段宜沿底板均匀布置，封闭段宜沿结构侧墙及中隔墙地步均匀布置。

b) 隧道纵向桩间距宜按相同间距均匀布置，并通过桩长的变化来调整各分段总抗浮力。

9.3.6 当钻孔桩或地下连续墙等支护结构兼做永久结构抗浮时，应进行耐久性设计，支护结构和内衬墙宜按复合式结构设计。

9.4 防火设计

9.4.1 隧道、地下附属设备用房、风井、消防出入口的耐火等级为一级，耐火极限不应低于 2h。地面重要的设备用房、运营管理中心耐火等级不应低于二级，其它地面附属用房的耐火等级为二级，耐火极限不应低于 1.5h。

9.4.2 隧道的每孔车道为一个防火分区。隧道内安全通道、设备管廊、附属设备用房应与车道分为不同的防火分区。两个防火分区之间应采用耐火极限不低于 3.0h 的防火墙和甲级防火门分隔。

9.4.3 隧道附设的地下设备用房每个防火分区的建筑面积不应大于 1500m²。每个防火分区应至少设有一个直通室外的安全出口，与车道或其它防火分区相通的出口可作为第二安全出口；建筑面积不大于 500m²且无人值班的设备用房可设置一个直通室外的安全出口。

9.4.4 人行横通道两端及通向人行疏散通道的安全门应设置甲级防火门。

9.4.5 横向车行通道内应设置耐火极限不低于 3.0h 的防火卷帘。

9.4.6 隧道顶部主体结构应设置抗热冲击、耐高温的防火保护层。

9.5 结构监测

9.5.1 结合隧道施工阶段监测及运维阶段监测需求，可合理布置必要的永久结构监测点。

9.5.2 隧道结构监测系统的设计使用年限应根据监测需要确定，数据传输与处理应与运营管理系统统一考虑。

9.5.3 隧道结构监测测点应直接固定在主体结构上，监测数据能直接反映主体结构的变化。结构断面监测点如图 6 所示

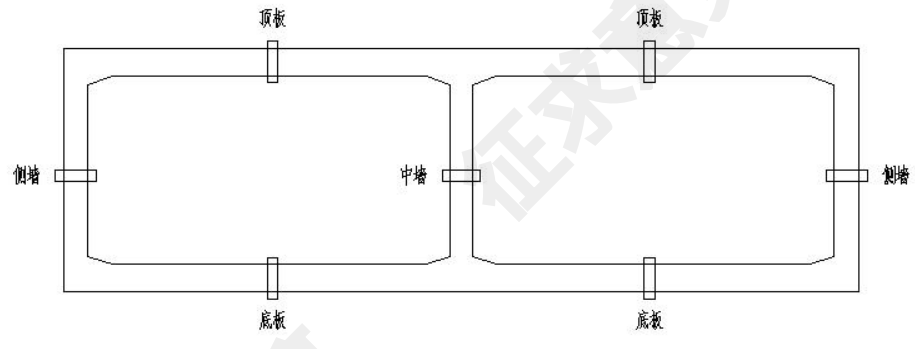


图 6 隧道监测点布置示意图

10 基坑支护设计

10.1 一般规定

10.1.1 本章所指基坑适用于一般地质条件下公路下沉式隧道的基坑支护。对湿陷性土、多年冻土、膨胀土、盐渍土等特殊土或岩石基坑，应结合当地工程经验应用本规范。

10.1.2 基坑支护设计、施工与基坑开挖，应综合考虑地质条件、基坑周边环境要求、主体地下结构要求、施工季节变化及支护结构使用期等因素，因地制宜、合理选型、优化设计、精心施工、严格监控。

10.1.3 基坑支护工程除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

10.1.4 基坑支护设计应根据支护结构自身稳定性要求及其对周边建(构)筑物的影响，分别采用承载能力极限状态和正常使用极限状态进行分析计算，并应满足下列要求：

- a) 基坑支护设计应规定其设计使用期限，基坑最小设计使用期限不应小于一年；
- b) 基坑支护设计应能保证公路下沉式隧道施工空间及周边周边建(构)筑物、地下管线、道路的安全和正常使用；
- c) 基坑支护设计时应根据周边环境按表 31 确定基坑周边环境等级和支护结构的水平位移控制值。

表 31 基坑环境等级及其支护结构水平位移控制值

环境等级	适用范围	支护结构水平位置控制值
特殊要求	基坑开挖影响范围内存在地下管线、地铁站、变电站、古建筑等有特殊要求的建(构)筑物、设施	满足建(构)筑物、设施的位移控制要求，基坑支护设计、施工、监测方案需得到其管理部门同意
一级	基坑开挖影响范围内存在浅基础房屋、桩长小于基坑开挖深度的摩擦桩基础建筑，轨道交通设施、隧道、防渗墙、雨(污)水管、供水总管、煤气总管、管线共同沟等重要建(构)筑物、设施	位移控制值取 30mm 且不大于 0.002H
二级	一级与三级以外的基坑	水平位移控制值取 45mm~50mm 且不大于 0.004H

三级	周边三倍基坑开挖深度范围内无任何建筑、管线等需要保护的建（构）筑物	水平位移控制值取 60mm~100mm 且不大于 0.006H
<p>注 1: H 为基坑开挖深度;</p> <p>注 2: 基坑开挖影响范围一般取 1.0H; 当存在砂层、软土层时, 开挖影响范围应适当加大至 2.0H;</p> <p>注 3: 表中 水平位移控制值与基坑开挖深度的关系需同时满足, 取最小值;</p> <p>注 4: 特殊要求与一级基坑, 应严格控制变形。二、三级基坑的位移, 如基坑周边环境许可, 则主要由支护结构的稳定来控制。</p>		

d) 基坑支护设计时, 应综合考虑地质条件的复杂程度、基坑深度等因素, 按表 32 确定支护结构的安全等级和重要性系数, 对同一基坑的不同部位, 可采用不同的安全等级。

表 32 支护结构的安全等级

安全等级	破坏后果	等级范围描述	重要性系数 γ_0
一级	对主体结构施工安全或基坑周边环境的影响很严重	1 基坑开挖深度大于 14m 2 支护结构作为主体结构的一部分 3 基坑开挖影响范围内存在重要建（构）筑物、对变形敏感的建（构）筑物或需要保护的重要管线	1.1
二级	对主体结构施工安全或基坑周边环境的影响严重	除一级和三级以外的基坑	1
三级	对主体结构施工安全或基坑周边环境的影响不严重	开挖深度小于 6m, 且周围环境无特别要求	0.9
注: 等级范围描述只需满足其中一项, 即可定为安全等级为一级基坑。			

e) 支护结构构件按承载能力极限状态设计时, 作用基本组合的综合分项系数不应小于 1.25, 各类稳定性安全系数应符合国家现行有关标准的规定;

f) 基坑支护设计应按基坑各部位的开挖深度、周边环境条件、地质条件等因素划分设计计算剖面。对每一计算剖面, 应按其最不利条件进行计算。隧道雨水泵房处基坑应单独划分计算剖面;

g) 基坑支护设计应与基坑施工工序及基坑深度相对应, 并应根据工程经验分析判断计算参数取值和计算分析结果的合理性。

10.1.5 基坑的支护结构选型可参考下表。

表 33 支护结构的适用条件

结构类型		适用条件		
		安全等级	基坑深度、环境条件、土类与地下水条件	
支挡式 结构	锚拉式结构	一级	适用于较深基坑	1、排桩适用于可采用降水或截水帷幕的基坑 2、锚杆不宜在软土、砂性土地层或锚固长度受限时使用
	支撑式结构			
	悬臂式结构	二级	适用于较浅基坑	
	双排桩	三级	条件受限时使用	
重力式水泥土墙		二级 三级	适用于软土地质且较浅的基坑	
土钉墙		三级	基坑深度不宜大于 12m	潜在滑动面内有重要构筑物时不宜采用
放坡			适用于较浅基坑	

10.1.6 基坑支护选型除应考虑基坑深度、工程地质条件、周边环境及隧道主体结构施工需求外，还应满足下列要求：

- a) 采用两种或两种以上支护结构形式时，其结合处应考虑相邻支护结构的相互影响，且应有可靠的过渡连接措施；
- b) 支护结构上部采用土钉墙或放坡、下部采用支挡式结构时，支挡式结构应考虑上部土钉墙或放坡的作用；
- c) 基坑开挖采用放坡或支护结构上部采用放坡时，应按本规范第 7 章的规定验算边坡的滑动稳定性，边坡的圆弧滑动稳定安全系数不应小于 1.2。放坡坡面应设置防护层。

10.2 基坑围护结构及稳定性验算

10.2.1 土钉墙、预应力锚杆复合土钉墙的坡比不宜大于 1:0.2；当基坑较深、土的抗剪强度较低时，宜取较小坡比。对砂土、碎石土、松散填土，确定土钉墙坡度时应考虑开挖时坡面的局部自稳能力。

10.2.2 土钉水平间距和竖向间距宜为 1m~2m；当基坑较深、土的抗剪强度较低时，土钉间距应取小值。土钉倾角宜为 5°~20°。土钉长度应按各层土钉受力均匀、各土钉拉力与相应土钉极限承载力的比值相近的原则确定。

10.2.3 成孔注浆型钢筋土钉的构造应符合下列要求：

- a) 成孔直径宜取 70mm~120mm;
- b) 土钉钢筋宜选用 HRB400、HRB500 钢筋, 钢筋直径宜取 16mm~32mm;
- c) 应沿土钉全长设置对中定位支架, 其间距宜取 1.5m~2.5m, 土钉钢筋保护层厚度不宜小于 20mm;
- d) 土钉孔注浆材料可采用水泥浆或水泥砂浆, 其强度不宜低于 20MPa。

10.2.4 钢管土钉的构造应符合下列要求:

- a) 钢管的外径不宜小于 48mm, 壁厚不宜小于 3mm; 钢管的注浆孔应设置在钢管末端 $L/2 \sim 2L/3$ 范围内; 每个注浆截面的注浆孔宜取 2 个, 且应对称布置, 注浆孔的孔径宜取 5mm~8mm, 注浆孔外应设置保护倒刺;
- b) 钢管的连接采用焊接时, 接头强度不应低于钢管强度; 钢管焊接可采用数量不少于 3 根、直径不小于 16mm 的钢筋沿截面均匀分布拼焊, 双面焊接时钢筋长度不应小于钢管直径的 2 倍。

注: L 为钢管土钉的总长度。

10.2.5 土钉墙高度不大于 12m 时, 喷射混凝土面层的构造应符合下列要求:

- a) 喷射混凝土面层厚度宜取 80mm~100mm;
- b) 喷射混凝土设计强度等级不宜低于 C20;
- c) 喷射混凝土面层中应配置钢筋网和通长的加强钢筋, 钢筋网宜采用 HPB300 级钢筋, 钢筋直径宜取 6mm~10mm, 钢筋间距宜取 150mm~250mm; 钢筋网间的搭接长度应大于 300mm; 加强钢筋的直径宜取 14mm~20mm; 当充分利用土钉杆体的抗拉强度时, 加强钢筋的截面面积不应小于土钉杆体截面面积的 1/2。

10.2.6 当土钉墙后存在滞水时, 应在含水层部位的墙面设置泄水孔或采取其他疏水措施。

10.2.7 重力式水泥土墙宜采用水泥土搅拌桩相互搭接成格栅状的结构形式, 也可采用水泥土搅拌桩相互搭接成实体的结构形式。搅拌桩的施工工艺宜采用喷浆搅拌法。

10.2.8 重力式水泥土墙的嵌固深度, 对淤泥质土, 不宜小于 1.2h, 对淤泥, 不宜小于 1.3h; 重力式水泥土墙的宽度, 对淤泥质土, 不宜小于 0.7h, 对淤泥, 不宜小于 0.8h。

注: h 为基坑深度。

GDJT xxx-xx-20xx

10.2.9 重力式水泥土墙采用格栅形式时，格栅的面积置换率，对淤泥质土，不宜小于 0.7；对淤泥，不宜小于 0.8h；对一般黏性土、砂土，不宜小于 0.6。格栅内侧的长宽比不宜大于 2，格栅内土体不应造成水泥土墙身强度破坏。

10.2.10 水泥土搅拌桩的搭接宽度不宜小于 150mm。水泥土墙体的 28d 无侧限抗压强度不宜小于 0.8MPa。水泥土墙顶面宜设置混凝土连接面板，面板厚度不宜小于 150mm，混凝土强度等级不宜低于 C15。

10.2.11 钢板桩适用于砂土、粉土、黏性土、局部淤泥及淤泥质土，且邻近无重要建（构）筑物或重要地下管线的基坑支护工程，当邻近有重要建（构）筑物或重要地下管线时，应完善打入和拔除过程的相关保护措施。

10.2.12 钢板桩与混凝土接触时宜采取隔离措施，钢板桩在拆除前应有回填、回撑主体结构支撑等可靠措施。

10.2.13 钢板桩支护的内支撑宜采用钢腰梁。钢腰梁与钢板桩、钢支撑间应有可靠的连接和加固措施。

10.2.14 排桩的桩型与成桩工艺应符合下列要求：

- a) 应根据土层的性质、地下水条件及基坑周边环境要求等选择混凝土灌注桩、型钢桩、钢管桩、钢板桩、型钢水泥土搅拌桩等桩型；
- b) 当支护桩施工影响范围内存在对地基变形敏感、结构性能差的建筑物或地下管线时，不应采用挤土效应严重、易塌孔、易缩径或有较大振动的桩型和施工工艺；
- c) 采用挖孔桩且成孔需要降水时，降水引起的地层变形应满足周边建筑物和地下管线的要求，否则应采取截水措施。

10.2.15 采用混凝土灌注桩时，对悬臂式排桩，支护桩的桩径宜大于或等于 600mm；对锚拉式排桩或支撑式排桩，支护桩的桩径宜大于或等于 400mm；排桩的中心距不宜大于桩直径的 2.0 倍。

10.2.16 采用混凝土灌注桩时，支护桩的桩身混凝土强度等级、钢筋配置和混凝土保护层厚度应符合下列规定：

- a) 桩身混凝土强度等级不宜低于 C25；

- b) 纵向受力钢筋宜选用 HRR400、HRB500 钢筋，单桩的纵向受力钢筋不宜少于 8 根，其净间距不应小于 60mm；支护桩顶部设置钢筋混凝土构造冠梁时，纵向钢筋伸入冠梁的长度宜取冠梁厚度；冠梁按结构受力构件设置时，桩身纵向受力钢筋伸入冠梁的锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对钢筋锚固的有关规定；当不能满足锚固长度的要求时，其钢筋末端可采取机械锚固措施；
- c) 箍筋可采用螺旋式箍筋；箍筋直径不应小于纵向受力钢筋最大直径的 1/4，且不应小于 6mm；箍筋间距宜取 100mm~200mm，且不应大于 400mm 及桩的直径；
- d) 沿桩身配置的加强箍筋应满足钢筋笼起吊安装要求，宜选用 HPB300、HRB400 钢筋，其间距宜取 1000mm~2000mm；
- e) 纵向受力钢筋的保护层厚度不应小于 35mm；采用水下灌注混凝土工艺时，不应小于 50mm；
- f) 当采用沿截面周边非均匀配置纵向钢筋时，受压区的纵向钢筋根数不应少于 5 根；当施工方法不能保证钢筋的方向时，不应采用沿截面周边非均匀配置纵向钢筋的形式；
- g) 当沿桩身分段配置纵向受力主筋时，纵向受力钢筋的搭接应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

10.2.17 排桩桩间土应采取防护措施。桩间土防护措施宜采用内置钢筋网或钢丝网的喷射混凝土面层。喷射混凝土面层的厚度不宜小于 50mm，混凝土强度等级不宜低于 C20，混凝土面层内配置的钢筋网的纵横间距不宜大于 200mm。

10.2.18 地下连续墙的墙体厚度宜根据成槽机的规格，选取 600mm、800mm、1000mm 或 1200mm。

10.2.19 一字形槽段长度宜取 4m~6m。当成槽施工可能对周边环境产生不利影响或槽壁稳定性较差时，应取较小的槽段长度。必要时，宜采用搅拌桩对槽壁进行加固。

10.2.20 地下连续墙的混凝土强度等级宜取 C30~C40。地下连续墙用于截水时，墙体混凝土抗渗等级不宜小于 P6。地下连续墙纵向受力钢筋的保护层厚度，在基坑内侧不宜小于 50mm，在基坑外侧不宜小于 70mm。

10.2.21 地下连续墙的纵向受力钢筋应沿墙身两侧均匀配置，可按内力大小沿墙体纵向分段配置，但通长配置的纵向钢筋不应小于总数的 50%；纵向受力钢筋宜选用 HRB400、HRB500 钢筋，直径不宜小于 16mm，净间距不宜小于 75mm。水平钢筋及构造钢筋宜选用 HPB300 或 HRB400 钢筋，

GDJT xxx-xx-20xx

直径不宜小于 12mm，水平钢筋间距宜取 200mm~400mm。冠梁按构造设置时，纵向钢筋伸入冠梁的长度宜取冠梁厚度。冠梁按结构受力构件设置时，墙身纵向受力钢筋伸入冠梁的锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对钢筋锚固的有关规定。当不能满足锚固长度的要求时，其钢筋末端可采取机械锚固措施。

10.2.22 双排桩排距宜取 $2d\sim 5d$ 。刚架梁的宽度不应小于 d ，高度不宜小于 $0.8d$ ，刚架梁高度与双排桩排距的比值宜取 $1/6\sim 1/3$ 。

注： d 为双排桩桩径，当前后排桩径不同时取大值。

10.2.23 双排桩结构的嵌固深度，对淤泥质土，不宜小于 $1.0h$ ；对淤泥，不宜小于 $1.2h$ ；对一般黏性土、砂土不宜小于 $0.6h$ 。前排桩端宜置于桩端阻力较高的土层。采用泥浆护壁灌注桩时，施工时的孔底沉渣厚度不应大于 50mm ，或应采用桩底后注浆加固沉渣。

注： h 为基坑深度。

10.2.24 泵房等基坑局部加深部位围护结构应向两侧基坑较浅部位延伸一定距离，单侧延伸长度不宜小于 3 倍围护桩中心距或 5 倍连续墙厚度。基坑局部加深部位临近大基坑一侧的围护结构设计，可结合隧道地基加固需要，采用格栅式水泥土墙等方案。

10.2.25 土压力计算时，土的抗剪强度指标应符合下列规定：

- a) 淤泥及淤泥质土应采用有效自重应力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标；
- b) 正常固结的饱和黏性土应采用在土的有效自重应力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标；当施工挖土速度较慢，排水条件好，土体有条件固结时，可采用三轴固结不排水抗剪强度指标或直剪固结快剪强度指标；
- c) 砂类土采用有效应力强度指标；
- d) 软黏土的隆起稳定验算可采用十字板剪切强度或三轴不固结不排水抗剪强度指标；
- e) 当基坑邻近存在交通繁忙的主干道或其他对土的扰动源时，灵敏度较高的土的强度指标宜适当折减；
- f) 应考虑打桩、地基处理的挤土效应等施工扰动原因造成的土强度指标降低的不利影响。

10.2.26 淤泥及淤泥质土可按固结快剪指标乘以 0.75 的系数后采用；当乘以 0.75 的系数后小于直接快剪指标的，按直接快剪指标采用。

10.2.27 水土分算时，土的强度指标应采用有效应力强度指标 c' 、 φ' ，其值应通过室内固结排水试验获得。对粉土，缺少有效应力强度指标时，也可采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} 代替；对砂土和碎石土，有效应力强度指标 φ' 可根据标准贯入试验实测击数和水下休止角等物理力学指标取值。

10.2.28 岩土参数也可根据当地地质和经验，并参考其他试验结果，进行综合后采用。

10.2.29 被动侧土体经基底加固处理或处于花岗岩残积土地层的，岩土参数宜根据经验适当进行调整。

10.2.30 支护结构水平荷载标准值 e_{aik} 按下列规定计算（图7）：

a) 对计算点位于地下水位以上以及水土合算的土层

$$e_{aik} = \sigma_{aik}K_{ai} - 2c_i\sqrt{K_{ai}} \quad (18)$$

b) 对计算点位于地下水位以下的土层

$$e_{aik} = \sigma_{aik}K_{ai} - 2c_i\sqrt{K_{ai}} + (z_i - h_{wa})(1 - K_{ai})\gamma_w \quad (19)$$

式中：

K_{ai} ——第 i 层土的主动土压力系数；

σ_{aik} ——作用于深度 z_i 处的竖向应力标准值（kPa）；

c_i ——第 i 层土的粘聚力标准值（kPa）；

z_i ——计算点深度（m）；

h_{wa} ——基坑外侧水位深度（m）；

h_{wp} ——基坑内侧水位深度（m）；

γ_w ——水的重度（kN/m³），取 $\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ 。

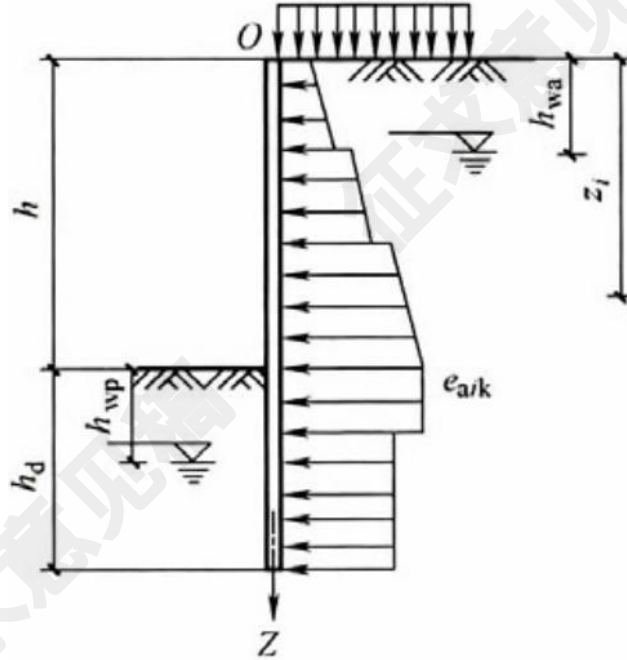


图 7 水平荷载标准值计算图

10.2.31 为避免基坑围护设计过保守，计算时应针对性采用水土合算或水土分算进行设计：

a) 透水性强的土宜按水土分算方法计算侧压力，透水性弱的土可按水土合算方法计算侧压力。

b) 基坑周边若有对变形敏感的建（构）筑物，宜按水土分算方法计算侧压力。

c) 一级基坑宜按水土分算方法计算侧压力，三级基坑优先选择水土合算方法计算侧压力。

10.2.32 当按式（18）、式（19）计算的基坑开挖面以上水平荷载标准值小于零时，应取零。

10.2.33 基坑外侧计算点深度 z_i 处竖向应力标准值 σ_{aik} 可按下式计算：

$$\sigma_{aik} = \sigma_{rk} + \sigma_{0k} + \sigma_{1k} \quad (20)$$

式中：

σ_{rk} ——土体自重产生的竖向应力（kPa）；

σ_{0k} ——地面均布荷载在土中产生的竖向应力（kPa）；

σ_{1k} ——地面局部荷载在土中产生的竖向应力（kPa）。

各分量的计算应符合下列规定：

a) 自重竖向应力 σ_{rk} 的计算

1) 计算点 z_i 位于基坑开挖面以上时按三角形分布模型计算:

$$\sigma_{rk} = \gamma_{mi} z_i \quad (21)$$

$$\gamma_{mi} = \frac{\sum \gamma_i h_i}{z_i} \quad (22)$$

式中:

γ_{mi} ——深度 z_i 以上土的加权平均天然重度 (kN/m³);

γ_i ——第 i 层土的平均天然重度 (kN/m³);

h_i ——第 i 层土的厚度 (m)。

2) 计算点 z_i 位于基坑开挖面以下时按矩形分布模型计算:

$$\sigma_{rk} = \gamma_{mh} h \quad (23)$$

$$\gamma_{mh} = \frac{\sum \gamma_i h_i}{h} \quad (24)$$

式中:

h ——基坑开挖深度 (m);

γ_{mh} ——计算点以上各层土的加权平均天然重度 (kN/m³)。

b) 当支护结构外侧地面作用均布荷载 q_0 时 (图 8), 基坑外侧任意深度 z_i 产生的竖向应力标准值 σ_{0k} 可按下式计算:

$$\sigma_{0k} = q_0 \quad (25)$$

式中:

q_0 ——支护结构外侧地面作用均布荷载, 可取 20kPa; 在基坑出入口处, 可取 40kPa。

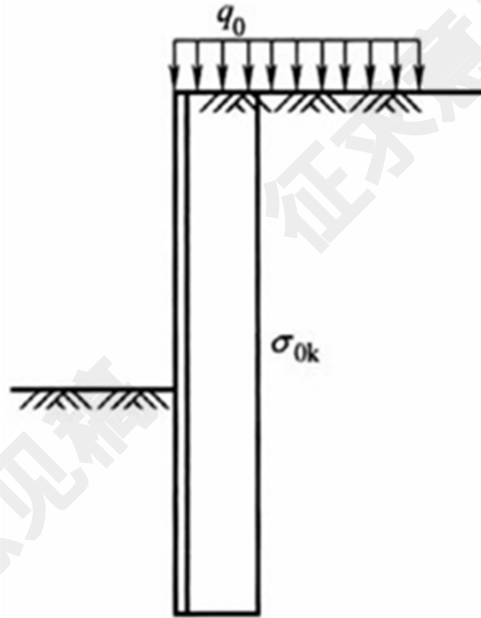


图 8 地面均布荷载产生的竖向应力计算图

c) 当距支护结构 b_1 外侧地面作用宽度为 b_0 的条形荷载 q_1 时 (图 9), 在基坑外侧深度 z_i 产生的竖向应力标准值 σ_{1k} 可按式计算:

$$\sigma_{1k} = \begin{cases} 0 & z_i < b_1 \\ q_1 \frac{b_0}{b_0 + 2b_1} & b_1 \leq z_i \leq 3b_1 + b_0 \\ 0 & z_i > 3b_1 + b_0 \end{cases} \quad (26)$$

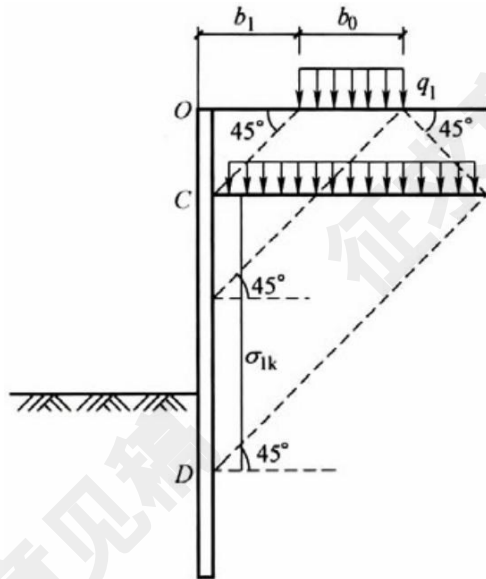


图 9 条形局部荷载产生的竖向应力计算图

10.2.34 复杂情况下的 σ_{0k} 和 σ_{1k} ，可按本规范第10.2.31条~第10.2.34条的规定进行计算。

10.2.35 当上部有局部放坡时（图10），坡脚以上的土体应换算为坡脚水平面上的条形荷载 q_0 ，在基坑外侧深度 z_i 产生的竖向应力标准值 σ_{0k} 可按下式计算：

$$\sigma_{0k} = \begin{cases} 0 & z_i < a \\ q_1 \frac{b_0}{b_0+2b_1} & a \leq z_i < (a+b) \\ q_0 & z_i \geq (a+b) \end{cases} \quad (27)$$

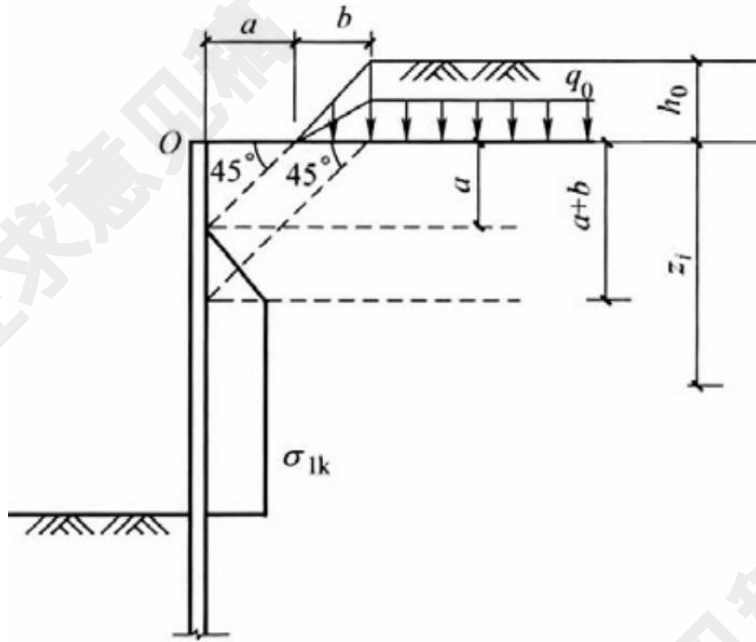


图10 上部有放坡时产生的竖向应力计算图

$$q_0 = \gamma h_0 \quad (28)$$

式中：

h_0 ——支护结构外侧放坡土体的高度（m）；

a ——支护结构外侧至放坡土体坡脚的水平距离（m）；

b ——支护结构外侧放坡土体坡脚至坡顶的水平距离（m）。

10.2.36 距支护结构距离 a 存在与支护结构平行的条形基础分布时（图11），其附加压力在基坑外侧深度 z_i 范围内产生的竖向应力标准值 σ_{1k} 可按下列规定计算：

$$\sigma_{1k} = \begin{cases} 0 & z_i < (a + d_h) \\ \frac{(p - \gamma d_h)b}{b + 2a} & (a + d_h) \leq z_i \leq (3a + b + d_h) \\ 0 & z_i > (3a + b + d_h) \end{cases} \quad (29)$$

式中:

p ——基础底面处附加压力标准值 (kPa);

d_h ——基础埋置深度 (m);

b ——基础底面宽度 (m);

a ——基础边距支护结构的距离 (m)。

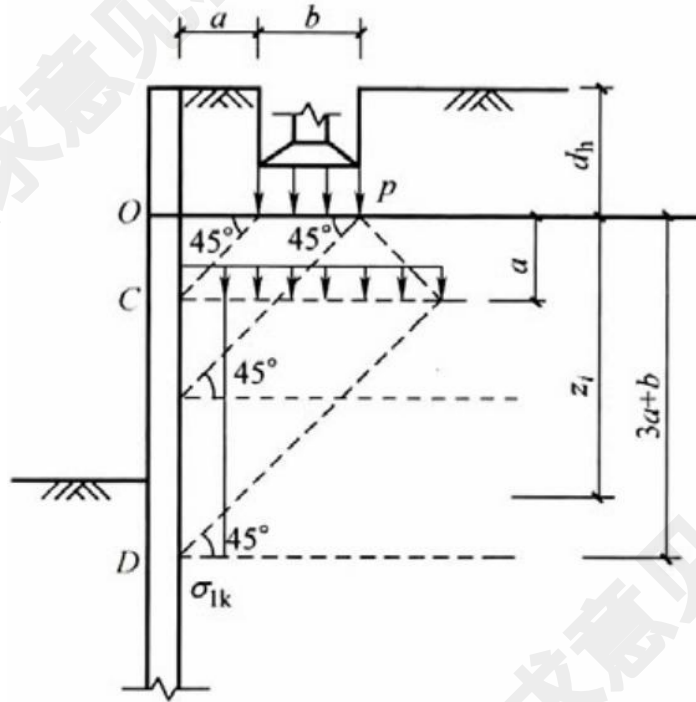


图 11 条形基础产生的竖向应力计算图

10.2.37 距支护结构距离 a 存在与支护结构平行的矩形基础时 (图 11), 其附加压力在基坑外侧深度 z_i 范围内产生的竖向应力标准值 σ_{1k} 可按下列规定计算:

$$\sigma_{1k} = \begin{cases} 0 & z_i < (a + d_h) \\ \frac{(p - \gamma d_h)bl}{(b + 2a)(l + 2a)} & (a + d_h) \leq z_i \leq (3a + b + d_h) \\ 0 & z_i > (3a + b + d_h) \end{cases} \quad (30)$$

式中:

l ——基础底面长度 (m)。

10.2.38 距支护结构距离 a 的基坑外侧土体存在大面积开挖时(图12),在基坑外侧深度 z_i 处竖向应力标准值 σ_{aik} 可按下列规定计算:

$$\sigma_{aik} = \begin{cases} \gamma_{mi} z_i & z_i < a \\ \gamma_{mi} \left(z_i - \frac{z_i - a}{b + d_0 - a} \cdot d_0 \right) & a \leq z_i < (b + d_0) \\ \gamma_{mi} (z_i - d_0) & z_i \geq (b + d_0) \end{cases} \quad (31)$$

式中:

γ_{mi} ——深度 z_i 以上各层土的加权平均天然重度(kN/m³)。

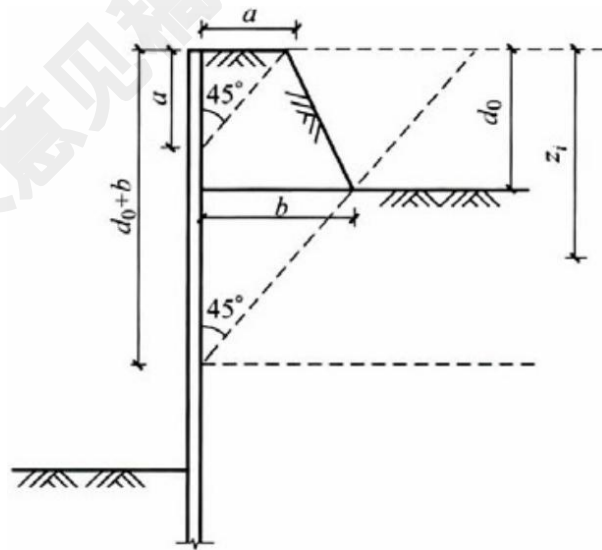


图 12 墙背开挖竖向应力计算图

10.2.39 对于局部开挖或墙后土体存在防空洞等复杂情况,在基坑外侧深度 z_i 处竖向应力标准值 σ_{aik} 可按本规范第12.3.3条~第12.3.8条的规定对各种应力进行迭加计算。

10.2.40 第 i 层土的主动土压力系数 K_{ai} ,应按下式计算:

$$K_{ai} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right) \quad (32)$$

式中:

φ_i ——第 i 层土的内摩擦角标准值($^\circ$)。

10.2.41 当支护结构水平位移有严格限制达不到产生主动土压力的条件时,土压力宜按静止土压力计算,并考虑最不利荷载组合。此时在基坑外侧计算深度处竖向应力标准值 σ_{aik} 可按下列规定计算:

$$\sigma_{aik} = \gamma_m z_i \quad (33)$$

静止土压力系数 K_0 可在侧压力仪或有特殊装置的三轴压缩仪中测定，在无试验条件下，可用下列经验公式计算：

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' \quad (34)$$

式中：

φ' ——土的有效内摩擦角（°）。

10.2.42 基坑内侧水平抗力标准值 e_{pik} 可按下列规定计算（图13）：

a) 砂土及碎石土：

1) 当计算点位于地下水位以上时

$$e_{pik} = \sigma_{pik} K_{pi} \quad (35)$$

2) 当计算点位于地下水位以下时

$$e_{pik} = \sigma_{pik} K_{pi} + (z_i - h_{wp})(1 - K_{pi})\gamma_m \quad (36)$$

式中：

σ_{pik} ——作用于基坑底面以下深度 z_i 处的竖向应力标准值（kPa）；

K_{pi} ——第 i 层土的被动土压力系数。

b) 粘性土及粉土：

$$e_{pik} = \sigma_{pik} K_{pi} + 2c\sqrt{K_{pi}} \quad (37)$$

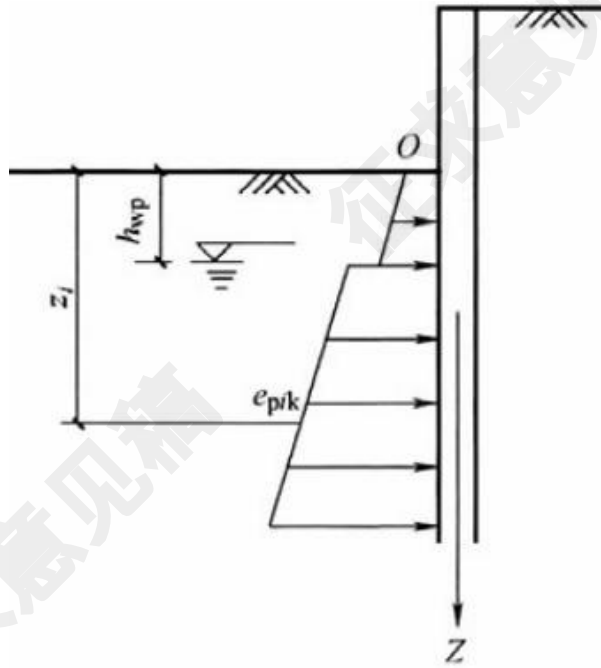


图 13 水平抗力标准值计算图

10.2.43 作用于基坑底面以下深度 z_i 处的竖向应力标准值 σ_{pik} 可按下式计算:

$$\sigma_{pik} = \gamma_{mi} z_i \quad (38)$$

式中:

γ_{mi} ——深度 z_i 以上土加权平均天然重度 (kN/m³)。

10.2.44 第 i 层土的被动土压力系数应按下式计算:

$$K_{pi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_i}{2} \right) \quad (39)$$

10.2.45 除了需要考虑空间效应的超小基坑、超深基坑和岩石基坑, 基坑支护结构可按平面问题计算。

10.2.46 支撑式支护结构的弹性支点刚度宜通过对内支撑结构整体进行线弹性结构分析得出的支点力与水平位移的关系确定。对水平对撑, 当支撑腰梁或冠梁的挠度可忽略不计时, 计算宽度内弹性支点刚度系数可按下式计算:

$$k_R = \frac{\alpha_R E A b_a}{\lambda_0 S} \cos^2 \theta \quad (40)$$

GDJT xxx-xx-20xx

式中：

λ ——支撑不动点调整系数：支撑两对边基坑的土性、开挖深度、周边荷载等条件相近，且分层对称开挖时，取 $\lambda = 0.5$ ；支撑两对边基坑的土性、开挖深度、周边荷载等条件或开挖时间有差异时，对土压力较大或先开挖的一侧，取 $\lambda = 0.5 \sim 1.0$ ，且差异大时取大值，反之取小值；对土压力较小或后开挖的一侧，取 $(1 - \lambda)$ ；当基坑一侧取 $\lambda = 1$ 时，基坑另一侧应按固定支座考虑；对竖向斜撑构件，取 $\lambda = 1$ ；

α_R ——支撑松弛系数，对混凝土支撑和预加轴向压力的钢支撑，取 $\alpha_R = 1.0$ ，对不预加轴向压力的钢支撑，取 $\alpha_R = 0.8 \sim 1.0$ ；

E ——支撑材料的弹性模量（kPa）；

A ——支撑的截面面积（m²）；

l_0 ——受压支撑构件的长度（m）；

S ——支撑水平间距（m）；

b_a ——基坑侧壁计算宽度（m）；

θ ——支撑与支护面法线的夹角（°）。

10.2.47 拉力型钢绞线锚杆或普通钢筋锚杆的支点水平刚度，可通过锚杆试验得到的轴向拉力与水平位移的关系按下式确定：

$$k_R = \frac{(Q_2 - Q_1)b_a}{(s_2 - s_1)S} \quad (41)$$

式中： Q_1 、 Q_2 ——锚杆循环加荷或逐级加荷试验中 $(Q - s)$ 曲线上对应锚杆锁定值与轴向拉力标准值的荷载值（kN）；

s_1 、 s_2 —— $(Q - s)$ 曲线上对应于荷载为 Q_1 、 Q_2 的锚头位移值（m）；

S ——锚杆水平间距（m）。

当无试验资料时，可按下式计算：

$$k_r = \frac{3E_s E_c A_p A b_a}{(3E_c A l_f + E_s A_p l_a)} S \cos^2 \theta \quad (42)$$

$$E_c = \frac{E_s A_p + E_m (A - A_p)}{A} \quad (43)$$

式中：

E_s ——锚杆杆体的弹性模量（kPa）；

E_c ——锚杆的复合弹性模量（kPa）；

A_p ——锚杆杆体的截面面积（m²）；

A ——锚杆固结体的截面面积（m²）；

l_f ——锚杆的自由段长度（m）；

l_a ——锚杆的锚固段长度（m）；

E_m ——锚杆固结体的弹性模量（kPa）；

θ ——锚杆与水平面的夹角（°）；

b_a ——计算宽度（m）；

S ——锚杆的水平间距（m）。

10.2.48 桩（墙）式支护结构内力、变形与支点力的计算应根据施工过程按本规范附录 A 的增量法进行计算，也可以按其他能考虑施工过程的可靠方法进行计算。

10.2.49 被动侧土体抗力超过被动土压力时，超过部分应进行应力转移，作为新增外力，按增量法进行迭代。

10.2.50 考虑开挖对周边环境影响或空间效应明显的基坑也可采用三维数值计算法进行仿真分析。

10.2.51 作为对撑的支撑，应根据立柱设置等情况分别复核支撑的垂直向和水平向的稳定性。

10.2.52 冠梁和腰梁可把支点作为支座按弹性连续梁计算其内力。

10.2.53 结构内力及支点力的设计值应按下列规定计算：

a) 截面弯矩设计值 M

$$M = 1.25\gamma_0 M_c \quad (44)$$

式中：

M_c ——截面弯矩计算值（kN·m），可按本规范第 10.2.45 条计算。

b) 截面剪力设计值 V

$$V = 1.25\gamma_0 V_c \quad (45)$$

式中：

V_c ——截面剪力计算值（kN），可按本规范第 10.2.45 条计算。

c) 支点结构第 j 层支点力设计值 T_{dj}

$$T_{dj} = 1.25\gamma_0 T_{cj} \quad (46)$$

式中：

T_{cj} ——第 j 层支点力计算值（kN），可按第 10.2.45 条计算。

10.2.54 排桩、地下连续墙及支撑体系混凝土结构的承载力应按下列规定计算：

a) 正截面受弯及斜截面受剪承载力计算以及纵向钢筋、箍筋的构造要求，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；

b) 圆形截面正截面受弯承载力应按本规范附录 B 的规定计算，正截面弯矩设计值可按本规范第 10.2.50 条的规定确定。

10.2.55 悬臂支护结构稳定计算应符合下列规定：

a) 抗倾覆稳定计算应满足下式（图 14）：

$$h_p \sum E_{pj} - 1.2\gamma_0 h_a \sum E_{aj} \geq 0 \quad (47)$$

式中：

$\sum E_{pj}$ ——桩、墙底以上根据本规范第 12.3 节确定的基坑内侧各土层水平抗力标准值 e_{pik} 的合力之和（kN）；

$\sum E_{aj}$ ——桩、墙底以上根据本规范第 12.3 节确定的基坑外侧各土层水平荷载标准值 e_{aik} 的合力之和（kN）；

γ_0 ——支护结构重要性系数，一级基坑取 $\gamma_0 = 1.1$ ，二级基坑取 $\gamma_0 = 1.0$ ，三级基坑取 $\gamma_0 = 0.9$ ；

h_p ——合力 $\sum E_{pj}$ 作用点至桩、墙底的距离（m）；

h_a ——合力 $\sum E_{aj}$ 作用点至桩、墙底的距离（m）。

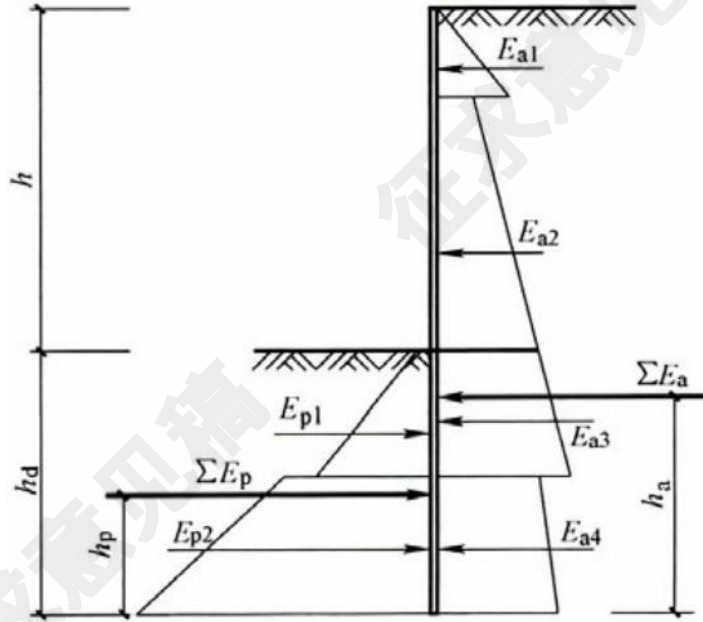


图 14 悬臂式支护结构稳定计算简图

- b) 计算确定的嵌固深度 h_d 除满足稳定要求外, 尚应通过采用附录 A 的增量法及其他可靠方法计算变形, 满足变形控制要求;
- c) h_d 设计值小于 $0.4h$ 时, 宜取 $0.4h$ 。

10.2.56 单支点支护结构稳定计算应满足下式 (图 13) :

$$h_p \sum E_{pj} - 1.2\gamma_0 h_a \sum E_{ai} \geq 0 \quad (48)$$

式中:

$\sum E_{pj}$ ——基坑内侧各土层水平抗力标准值的合力之和 (kN);

$\sum E_{ai}$ ——桩、墙底以上根据本规范第 12.3 节确定的基坑外侧各土层水平荷载标准值 e_{aik} 的合力之和 (kN);

γ_0 ——支护结构重要性系数, 一级基坑取 $\gamma_0 = 1.1$, 二级基坑取 $\gamma_0 = 1.0$, 三级基坑取 $\gamma_0 = 0.9$;

h_p ——合力 $\sum E_{pj}$ 作用点至支点的距离 (m);

h_a ——合力 $\sum E_{ai}$ 作用点至支点的距离 (m)。

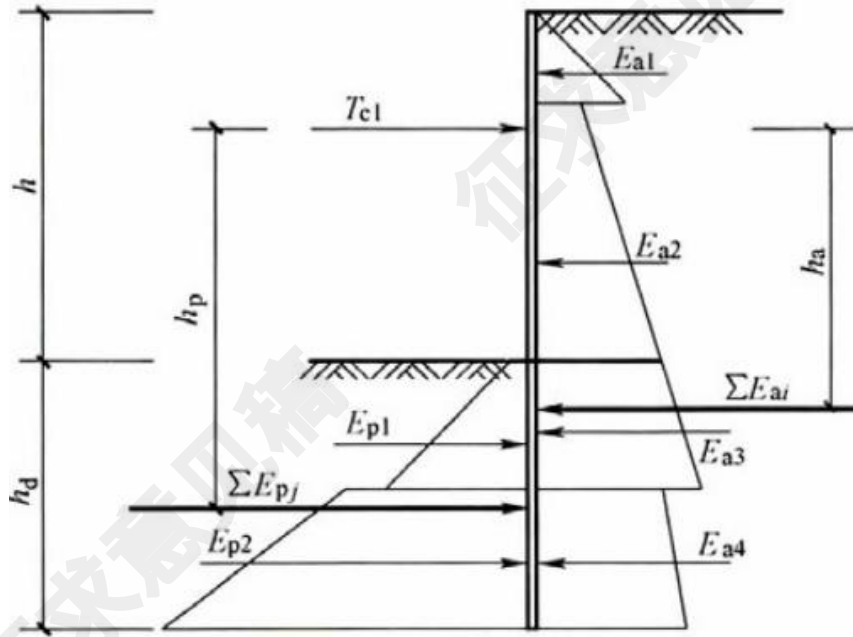


图 15 单支点支护结构稳定计算简图

10.2.57 多支点支护结构稳定计算应满足下式（图 14）：

$$M + h_p \sum E_{pj} - 1.2\gamma_0 h_a \sum E_{aci} \geq 0 \quad (49)$$

式中：

M ——最下一道支撑点以下支护结构的抗弯强度（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

$\sum E_{pj}$ ——基坑内侧各土层水平抗力标准值的合力之和（ kN ）；

$\sum E_{ai}$ ——基坑外侧最下一道支撑以下各土层水平荷载标准值的合力之和（ kN ）；

γ_0 ——支护结构重要性系数，一级基坑取 $\gamma_0 = 1.1$ ，二级基坑取 $\gamma_0 = 1.0$ ，三级基坑取 $\gamma_0 =$

0.9；

h_p ——合力 $\sum E_{pj}$ 作用点至最下一个支撑点的距离（ m ）；

h_a ——合力 $\sum E_{aci}$ 作用点至最下一道支撑点的距离（ m ）。

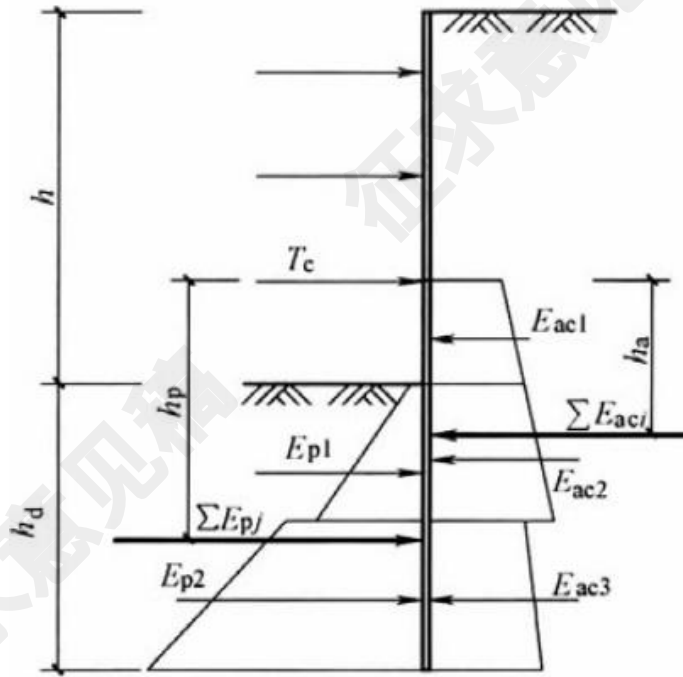


图 16 多支点支护嵌固深度计算简图

10.2.58 抗隆起稳定计算应符合下列规定：

a) 支护结构底面以下土体抗隆起稳定性计算满足下式（简图见图 15）：

$$\frac{\gamma_2 l_a N_q + c_k N_c}{\gamma_1 (h + l_a) + q} \geq K_s \quad (50)$$

$$N_q = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_k}{2} \right) e^{\pi \tan \varphi_k} \quad (51)$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \varphi_k} \quad (52)$$

式中：

K_s ——抗隆起稳定安全系数；安全等级为一级、二级、三级的支护结构， K_s 分别不应小于 1.8、1.6、1.4；

γ_1 ——基坑外侧挡土构件底面以上土的天然重度（kN/m³）。对多层土，取各层土按厚度加权的平均重度；

γ_2 ——基坑内侧挡土构件底面以上土的天然重度（kN/m³）。对多层土，取各层土按厚度加

权的平均重度；

h ——基坑深度 (m)；

l_d ——挡土构件的嵌固深度 (m)；

q ——基坑外侧地面的分布荷载或邻近建筑基础下的附加分布荷载 (kPa)；

N_c 、 N_q ——承载力系数；

c_k 、 φ_k ——分别为挡土构件底面以下土的黏聚力 (kPa)、内摩擦角的标准值，按本规范第 12.2.1 条取值。当挡土构件底面以下的土体为分层土时，应取最不利土层的 c_k 、 φ_k 值。

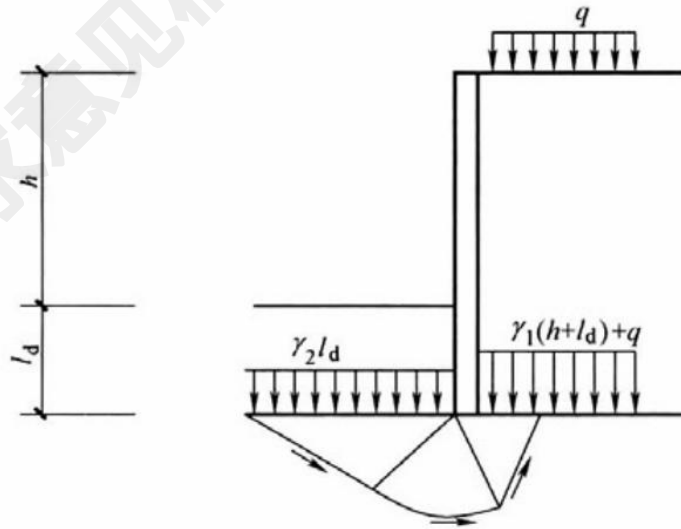


图 17 抗隆起稳定性验算简图

b) 挡土构件底面以下的软弱下卧层，尚应按式 (50) 进行软弱下卧层的抗隆起稳定验算，但式 (50) 中的 γ_1 、 γ_2 应取软弱下卧层顶面以上土的重度， l_d 应以 D 代替； D 为基坑底面至软弱下卧层顶面的土层厚度 (m)。

c) 嵌固深度应符合式 (53) 以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定性要求 (简图见图 16)：

$$\frac{\sum [c_j l_j + (q_j b_j + \Delta G_j) \cos \theta_j \tan \varphi_j]}{\sum (q_j b_j + \Delta G_j) \sin \theta_j} \geq \gamma_l \quad (53)$$

式中：

γ_l ——以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定安全系数， γ_l 不应小于 $1.6\gamma_0$ ；

c_j 、 φ_j ——第 j 土条在滑动面处土的黏聚力 (kPa)、内摩擦角 ($^\circ$)；

- l_j ——第 j 土条的滑弧段长度 (m), 取 $l_j = b_j / \cos\theta_j$;
- q_j ——作用在第 j 土条的附加分布荷载标准值 (kPa);
- b_j ——第 j 土条的宽度 (m);
- θ_j ——第 j 土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角 ($^\circ$);
- ΔG_j ——第 j 土条的自重 (kN), 按天然重度计算。

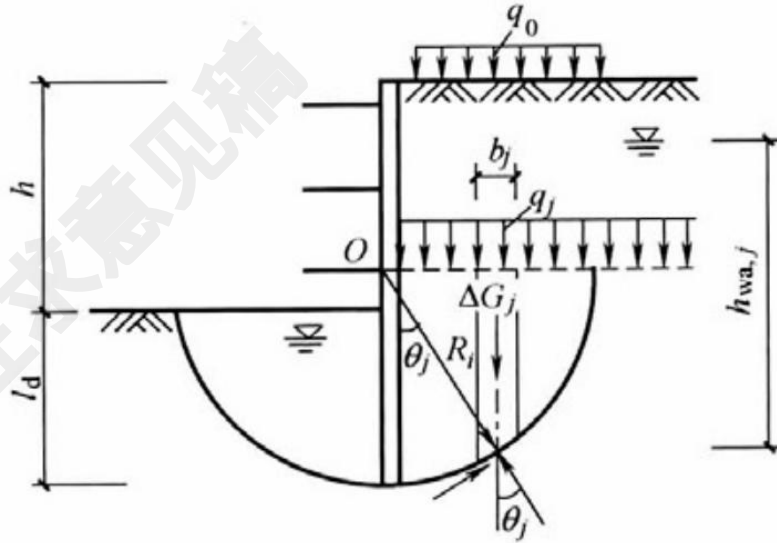


图 18 以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定性验算

10.2.59 支护结构的整体稳定性宜按本规范附录 C 的圆弧滑动条分法进行验算。

10.2.60 抗渗流稳定性的验算应符合下列规定:

- a) 当基坑地层为单一均匀透水层, 地下水为潜水时, 侧向截水的排桩、地下连续墙或截水帷幕的嵌固深度设计值除满足本章节上述的规定外, 尚应满足式 (54) 的抗渗稳定条件:

$$h_d \geq \frac{1.5\gamma_0\gamma_w - \gamma'}{\gamma'}(h - h_{wa}) \quad (54)$$

式中:

- h_d ——桩墙、截水帷幕的嵌固深度 (m);
- γ_0 ——建筑基坑侧壁重要性系数;
- γ_w ——地下水的重度 (kN/m³), 取 $\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$;
- γ' ——基坑底土体的有效重度 (kN/m³);

GDJT xxx-xx-20xx

h ——基坑开挖深度 (m);

h_{wa} ——地下水深度 (m)。

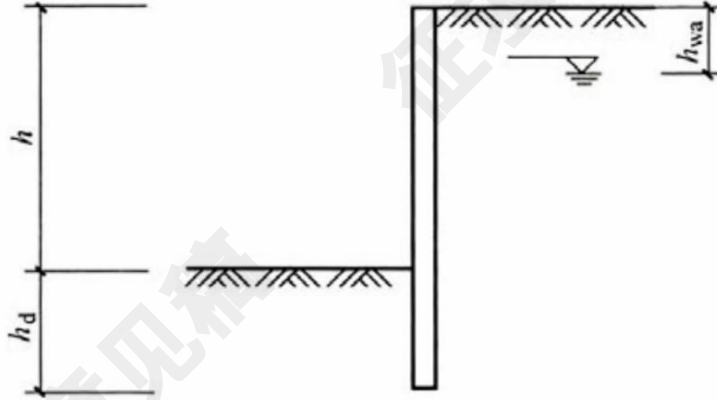


图 19 基底为透水层的潜水抗渗稳定性计算简图

基坑侧壁土体渗透系数不同的非均质含水层，须根据各土层的渗透系数计算各土层承担的水头，再进行坑底土层的抗渗稳定验算。

- b) 当基坑坑底土体为透水层，地下水为承压水时，侧向截水的排桩、地下连续墙或截水帷幕的嵌固深度设计值也按式 (54) 计算，但此时式中的 h_{wa} 取承压水测管水位。
- c) 当基坑坑底土体为相对弱透水的隔水层，隔水层以下的地下水为承压水，且未用截水帷幕隔断其基坑内外的水力联系时，坑底隔水层的厚度应满足下式抗渗稳定条件：

$$\gamma t \geq 1.2\gamma_0\gamma_w(h - h_{wa} + t) \quad (55)$$

式中：

t ——坑底隔水层厚度 (m);

γ_0 ——建筑基坑侧壁重要性系数;

γ_w ——地下水的重度 (kN/m³)，取 $\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$;

γ ——基坑底土体的重度 (kN/m³);

h ——基坑开挖深度 (m);

h_{wa} ——地下水深度 (m)。

- d) 当基坑坑底土体为级配不连续的砂土、碎石土含水层时，尚应进行管涌的可能性判别。

10.3 基坑支锚体系

10.3.1 锚杆的布置应符合下列规定：

- a) 锚杆的水平间距不宜小于 1.5m；对多层锚杆，其竖向间距不宜小于 2.0m；当锚杆的间距小于 1.5m 时，应根据群锚效应对锚杆抗拔承载力进行折减或改变相邻锚杆的倾角；
- b) 锚杆锚固段的上覆土层厚度不宜小于 4.0m；
- c) 锚杆倾角宜取 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ，不应大于 45° ，不应小于 10° ；锚杆的锚固段宜设置在强度较高的土层内；
- d) 当锚杆上方存在天然地基的建筑物或地下构筑物时，宜避开易塌孔、变形的土层。

10.3.2 钢绞线锚杆、钢筋锚杆的构造应符合下列规定：

- a) 锚杆成孔直径宜取 100mm~150mm；
- b) 锚杆自由段的长度不应小于 5m，且应穿过潜在滑动面并进入稳定土层不小于 1.5m；钢绞线、钢筋杆体在自由段应设置隔离套管；
- c) 土层中的锚杆锚固段长度不宜小于 6m；
- d) 锚杆杆体的外露长度应满足腰梁、台座尺寸及张拉锁定的要求；
- e) 锚杆杆体用钢绞线应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定；
- f) 钢筋锚杆的杆体宜选用预应力螺纹钢筋、HRB400、HRB500 螺纹钢筋；
- g) 应沿锚杆杆体全长设置定位支架；定位支架应能使相邻定位支架中点处锚杆杆体的注浆固结体保护层厚度不小于 10mm，定位支架的间距宜根据锚杆杆体的组装刚度确定，对自由段宜取 1.5m~2.0m；对锚固段宜取 1.0m~1.5m；定位支架应能使各根钢绞线相互分离；
- h) 锚具应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的规定；
- i) 锚杆注浆应采用水泥浆或水泥砂浆，注浆固结体强度不宜低于 20MPa。

10.3.3 内支撑结构选型应符合下列原则：

- a) 宜采用受力明确、连接可靠、施工方便的结构形式；
- b) 宜采用对称平衡性、整体性强的结构形式；
- c) 应与隧道主体结构的结构形式、施工顺序协调，便于主体结构施工；

d) 应利于基坑土方开挖和运输。

10.3.4 内支撑结构应综合考虑基坑平面形状及尺寸、开挖深度、周边环境条件、主体结构形式等因素，选用内支撑形式，对于长条形隧道基坑，宜采用带立柱的八字形支撑。

10.3.5 内支撑的平面布置应符合下列规定：

- a) 内支撑的布置应满足隧道主体结构的施工要求；
- b) 相邻支撑的水平间距应满足土方开挖的施工要求；采用机械挖土时，应满足挖土机械作业的空间要求，且不宜小于 4m；
- c) 基坑形状有阳角时，阳角处的支撑应在两边同时设置；
- d) 水平支撑与挡土构件之间宜设置连接腰梁；当支撑设置在挡土构件顶部时，水平支撑应与冠梁连接；在腰梁或冠梁上支撑点的间距，对钢腰梁不宜大于 4m，对混凝土梁不宜大于 9m。连接角撑的腰梁，腰梁与角撑、围护结构之间应采取可靠连接措施，保证剪力传递；
- e) 当需要采用较大水平间距的支撑时，宜根据支撑冠梁、腰梁的受力和承载力要求，在支撑端部两侧设置八字斜撑杆与冠梁、腰梁连接，八字斜撑杆宜在主撑两侧对称布置，且斜撑杆的长度不宜大于 9m，斜撑杆与冠梁、腰梁之间的夹角宜取 45°；
- f) 当设置支撑立柱时，立柱宜设置在系梁与支撑的交汇点处；立柱与支撑端部及立柱之间的间距应根据支撑构件的稳定要求和竖向荷载的大小确定，且对混凝土支撑不宜大于 15m，对钢支撑不宜大于 20m，立柱基础宜结合隧道桩基设置。

10.3.6 支撑的竖向布置应符合下列规定：

- a) 支撑与挡土构件连接处不应出现拉力；
- b) 支撑应避免与隧道主体结构板，首层混凝土支撑宜位于隧道顶板上，支撑底面与隧道主体结构顶板顶面的净距不宜小于 700mm；
- c) 支撑至坑底的净高不宜小于 3m；
- d) 采用多层水平支撑时，各层水平支撑宜布置在同一竖向平面内，层间净高不宜小于 3m。

10.3.7 混凝土支撑的构造应符合下列规定：

- a) 混凝土的强度等级不应低于 C25；

- b) 支撑构件的截面高度不宜小于其竖向平面内计算长度的 1/20；腰梁的截面高度(水平尺寸)不宜小于其水平方向计算跨度的 1/10，截面宽度(竖向尺寸)不应小于支撑的截面高度；
- c) 支撑构件的纵向钢筋直径不宜小于 16mm，沿截面周边的间距不宜大于 200mm；箍筋的直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 250mm。

10.3.8 钢支撑的构造应符合下列规定：

- a) 钢支撑构件可采用钢管、型钢及其组合截面；
- b) 钢支撑受压构件的长细比不应大于 150，受拉杆件长细比不应大于 200；
- c) 钢支撑连接宜采用螺栓连接，必要时可采用焊接连接；
- d) 当水平支撑与腰梁斜交时，腰梁上应设置牛腿或采用其他能够承受剪力的连接措施。

10.3.9 立柱的构造应符合下列规定：

- a) 立柱可采用钢格构、钢管、型钢或钢管混凝土等形式；
- b) 当采用灌注桩作为立柱基础时，钢立柱锚入桩内的长度不宜小于立柱长边或直径的 4 倍；
- c) 立柱长细比不宜大于 25；
- d) 立柱与水平支撑的连接可采用铰接；
- e) 立柱穿过主体结构底板的部位，应有有效的止水措施。

10.4 地下水控制

10.4.1 地下水控制应根据工程地质和水文地质条件、基坑周边环境要求及支护结构形式选用截水、降水、集水明排方法或其组合。

10.4.2 当降水会对基坑周边建(构)筑物、地下管线、道路等造成危害或对环境造成长期不利影响时，应采用截水方法控制地下水。采用悬挂式帷幕时，应同时采用坑内降水，并宜根据水文地质条件结合坑外回灌措施。

10.4.3 基坑截水应根据工程地质条件、水文地质条件及施工条件等，选用水泥土搅拌桩帷幕、高压旋喷或摆喷注浆帷幕、地下连续墙或咬合式排桩。支护结构采用排桩时，可采用高压旋喷或摆喷注浆与排桩相互咬合的组合帷幕。对碎石土、杂填土、泥炭质土、泥炭、pH 值较低的土或地下水流速较大时，水泥土搅拌桩帷幕、高压喷射注浆帷幕宜通过试验确定其适用性或外加

GDJT xxx-xx-20xx

剂品种及掺量。

10.4.4 截水帷幕在平面布置上应沿基坑周边闭合。当采用沿基坑周边非闭合的平面布置形式时，应对地下水沿帷幕两端绕流引起的渗流破坏和地下水位下降进行分析。

10.4.5 截水帷幕应均匀，搭接良好，不产生断桩及缩径等不良现象，宜穿过透水层进入下卧不透水层不小于 1.0m，或下卧岩层不少于 0.5m，或淤泥层 0.5m

10.4.6 利用钢板桩兼做止水帷幕时，钢板桩连接位置应设置有效的锁口措施；同时应变形协调，防止相邻钢板桩间错缝、渗水。

10.4.7 采用水泥土搅拌桩帷幕时，搅拌桩直径宜取 450mm~800mm，搅拌桩的搭接宽度应符合下列规定：

- a) 单排搅拌桩帷幕的搭接宽度，当搅拌深度不大于 10m 时，不应小于 150mm；当搅拌深度为 10m~15m 时，不应小于 200mm；当搅拌深度大于 15m 时，不应小于 250mm；
- b) 对地下水位较高、渗透性较强的地层，宜采用双排搅拌桩截水帷幕；搅拌桩的搭接宽度，当搅拌深度不大于 10m 时，不应小于 100mm；当搅拌深度为 10m~15m 时，不应小于 150mm；当搅拌深度大于 15m 时，不应小于 200mm。

10.4.8 搅拌桩水泥浆液的水灰比宜取 0.6~0.8。搅拌桩的水泥掺量宜取土的天然质量的 15%~20%。

10.4.9 采用高压旋喷、摆喷注浆帷幕时，注浆固结体的有效半径宜通过试验确定；缺少试验时，可根据土的类别及其密实程度、高压喷射注浆工艺，按工程经验采用。摆喷注浆的喷射方向与摆喷点连线的夹角宜取 10°~25°，摆动角度宜取 20°~30°。水泥土固结体的搭接宽度，当注浆孔深度不大于 10m 时，不应小于 150mm；当注浆孔深度为 10m~20m 时，不应小于 250mm；当注浆孔深度为 20m~30m 时，不应小于 350mm。对地下水位较高、渗透性较强的地层，可采用双排高压喷射注浆帷幕。

10.4.10 高压喷射注浆水泥浆液的水灰比宜取 0.9~1.1，水泥掺量宜取土的天然质量的 25%~40%。

10.4.11 基坑降水可采用管井、真空井点、喷射井点等方法，并宜按表 34 的适用条件选用。

表 34 各种降水方式的适用条件

方法	土类	渗透系数 (m/d)	降水深度 (m)。
管井	粉土、砂土、碎土石	0.1~200.0	不限
真空井点	黏性土、粉土、砂土	0.005~20.0	单级井点<6 多级井点<20
喷射井点	黏性土、粉土、砂土	0.005~20.0	<20

10.4.12 对坑底汇水、基坑周边地表汇水及降水井抽出的地下水，可采用明沟排水；对坑底渗出的地下水，可采用盲沟排水；当地下室底板与支护结构间不能设置明沟时，也可采用盲沟排水。

10.5 基坑监测

10.5.1 基坑工程应由设计人员提出监测和检测要求，包括监测和检测项目、数量、监测频率和监测报警值等。

10.5.2 监测方案主要内容应包括基坑工程概况、岩土工程条件、基坑周边环境、监测目的、监测依据、监测对象、监测项目、监测方法及精度要求、监测数量、监测点的平面和剖面布置图、监测频率、监测时段、监测控制值、监测报警值、监测组织架构、监测管理和记录制度以及信息反馈系统等。

10.5.3 监测范围应包括基坑边缘向外 2 倍开挖深度范围内的建（构）筑物、道路、管线及其他设施均列为监测对象，3 倍开挖深度范围内的重要建（构）筑物、道路、管线及其他设施，尤其是古文物保护点。

10.5.4 基坑工程监测项目可根据基坑支护安全等级按表 35 的规定选择。

表 35 现场监测项目选择表

序号	现场监测项目	基坑支护安全等级		
		一级	二级	三级
1	支护结构（边坡）顶部水平位移	√	√	√
2	支护结构（边坡）顶部沉降	√	√	√
3	周边建（构）筑物的沉降	√	√	√
4	周边地表的沉降	√	√	△

5	周边地表裂缝	√	√	△
6	支护结构裂缝	√	√	△
7	基坑周边建（构）筑物裂缝	√	√	△
8	周边地下管线的变形	√	√	/
9	周边地面超载情况	√	√	△
10	渗漏水状况	√	√	△
11	立柱竖向位移	√	△	△
12	基坑周边建（构）筑物倾斜	√	△	○
13	基坑周边建（构）筑物水平位移	√	△	○
14	支撑与锚杆内力	√	△	○
15	地下水位	√	△	○
16	支护结构（土层）深层水平位移	√	△	○
17	支护结构内力	△	△	○
18	立柱与土钉内力	△	△	○
19	支护结构侧向土压力或孔隙水压力	△	△	○
20	坑底软土回弹和隆起	△	△	○
注1：√为应测项目，△为宜测项目，○为可不测项目，/表示不存在这种情况；				
注2：对深度超过15m的基坑宜设坑底土回弹监测点。				

10.5.5 监测项目、监测点布置和监测精度要求应按表 36 的规定确定。

表 36 监测项目、测点布置和精度要求

序号	监测项目	位置或监测对象	仪器	监测精度	测点布置
1	支护结构（边坡） 顶部水平位移	冠梁上或边坡上端	经纬仪、全站仪	测点坐标中误差≤ 0.3	间距 15~30m
2	支护结构（边坡） 顶部沉降	冠梁上或边坡上端	水准仪	测点坐标中误差≤ 0.3	间距 15~30m
3	周边建（构）筑物 的沉降	建（构）筑物的首层柱 上	水准仪	测点坐标中误差≤ 0.15	建（构）筑物的中部、 角位，每栋不少于 3 点

4	周边地表的沉降	坑边两倍坑深范围	钢尺	测点坐标中误差 \leq 0.3	间距 20~50m
5	周边地表裂缝	裂缝位置	裂缝观测仪	0.1mm	代表性位置, 每条主 裂缝不少于 1 个点
6	支护结构裂缝	裂缝位置	裂缝观测仪	0.1mm	代表性位置, 每条主 裂缝不少于 1 个点
7	基坑周边建(构) 筑物裂缝	裂缝位置	裂缝观测仪	0.1mm	代表性位置, 每条主 裂缝不少于 1 个点
8	周边地下管线的变 形	管线接头	经纬仪、全站仪、 水准仪	测点坐标中误差 \leq 0.3	2 倍坑深范围内管线 接头位置
9	周边地面超载情况	地表堆载位置	荷载计	$\leq 0.5\%FS$	堆载位置不少于 1 个 点
10	渗漏水状况	渗漏点	量筒、流量计	10mL	水量较大的渗漏点, 不少于 1 点
11	立柱竖向位移	支撑立柱顶	水准仪	测点坐标中误差 \leq 0.3	不少于立柱总数的 20%, 且不少于 3 根
12	基坑周边建(构) 筑物倾斜	建(构)筑物顶的角位	经纬仪、全站仪	《建筑变形测量规 范》	建(构)筑物顶的 角位, 每栋不少于 3 点
13	基坑周边建(构) 筑物水平位移	建(构)筑物的柱位	经纬仪、全站仪	测点坐标中误差 \leq 0.3	建(构)筑物的首层 柱位, 每栋不少于 3 点
14	支撑与锚杆内力	支撑中部、端部或锚头	应变仪、钢筋计、 荷载计	$\leq 0.5\%FS$	不少于总数的 5%, 每 层不少于 1 根, 总数 不少于 6 根
15	地下水位	基坑周边	水位管、水位计	10.0mm	孔间距 20m~50m
16	支护结构(土层) 深层水平位移	支护结构内或靠近支 护结构的土体内	测斜管、测斜仪	0.25mm/m	孔间距 20m~50m, 竖 向点间距 0.5m
17	支护结构内力	支护桩内	轴力计或应变仪	$\leq 0.5\%FS$	2~3 个剖面
18	立柱与土钉内力	立柱上或锚头	钢筋计、荷载计	$\leq 0.5\%FS$	2~3 个剖面
19	支护结构侧向土压 力或孔隙水压力	基坑侧壁后和嵌固段 基坑侧壁前	土压力盒、孔隙 水压力计	$\leq 0.5\%FS$	2~3 个剖面
20	坑底软土回弹和隆 起	坑底	水准仪	测点坐标中误差 \leq 1.0	测点间距 20~30m, 不 少于 2 个剖面

注 1: 坐标中误差是指监测点相对测站点的坐标中误差, 为点位中误差的 $1/\sqrt{2}$;

注 2: FS 指监测项的控制值。

10.5.6 各监测项目在基坑支护施工前应测得稳定的初始值。监测项目控制值和报警值应根据基

GDJT xxx-xx-20xx

坑侧壁安全等级、支护结构类型和当地工程经验等因素确定，报警值作为现场监测报警的标准，可取控制值的 70%~80%。

10.5.7 各监测项目的监测频率应根据施工进度确定，在开挖卸载急剧阶段，不得低于 1 次/2d，其余阶段可延为 1 次/7d~1 次/15d；当变形超过有关标准或场地条件变化较大时，应加密监测；当有危险事故征兆时，则需进行每天不少于 1 次的连续监测。每次监测工作结束后，监测项目应及时提交监测简报及处理意见。

11 地基与基础设计

11.1 一般规定

11.1.1 在选择地基处理方案时，应考虑隧道结构、桩基和地基的共同作用，进行多种方案的技术经济比较，选用地基处理或加强隧道结构与地基处理相结合的方案。

11.1.2 公路下沉式隧道地基处理方法的确定宜根据隧道基坑开挖深度、施工作业条件，结合工程地质条件、水文地质条件等因素进行综合分析，从隧道沉降控制要求、工期要求和对环境的影响等方面进行技术经济分析和对比，选择最佳的地基处理方法。

11.1.3 对已选定的地基处理方法，应按公路等级、场地复杂程度以及该种地基处理方法在本地地区使用的成熟程度，在场地有代表性的区域进行相应的现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求时，应查明原因，修改设计参数或调整地基处理方案。

11.1.4 处理后的地基应满足隧道地基承载力、变形和稳定性要求，地基处理的设计尚应符合下列规定：

- a) 经处理后的地基，当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层地基承载力验算；
- b) 应根据隧道开挖情况和地基变形要求，对处理后的地基进行变形验算；
- c) 对建造在处理后的地基上受较大水平荷载或位于斜坡上的隧道，应进行地基稳定性验算。

11.1.5 处理后地基的承载力验算，应同时满足轴心荷载作用和偏心荷载作用的要求。

11.2 换填垫层

11.2.1 换填垫层适用于隧道基底存在浅层软弱土层或不均匀土层的情况，并应根据隧道基坑条件、施工机械设备及填料性质和来源等综合分析后，进行换填垫层的设计，选择施工方法。换填垫层的厚度应根据基坑深度和换软弱土的厚度确定，基坑深度不超过 5m 时，换填厚度不宜超过 3m，基坑深度在 5~10m 时，换填厚度不宜超过 2.0m，基坑深度超过 10m，换填厚度不宜超过 1.0m。

11.2.2 垫层材料的选用应符合下列要求：

- a) 砂石。宜选用碎石、卵石、角砾、圆砾、砾砂、粗砂、中砂或石屑，并应级配良好，不含植物残体、垃圾等杂质。当使用粉细砂或石粉时，应掺入不少于总重量 30%的碎石或卵石。砂石的最大粒径不宜大于 50mm。对湿陷性黄土或膨胀土地基，不得选用砂石等透水性材料。
- b) 粉质黏土。土料中有机质含量不得超过 5%，且不得含有冻土或膨胀土。当含有碎石时，其最大粒径不宜大于 50mm。用于湿陷性黄土或膨胀土地基的粉质黏性土垫层，土料中不得夹有砖、瓦或石块等。
- c) 灰土。体积配合比宜为 2:8 或 3:7。石灰宜选用新鲜的消石灰，其最大粒径不得大于 5mm。土料宜选用粉质黏土，不宜使用块状黏土，且不得含有松软杂质，土料应过筛且最大粒径不得大于 15mm。

11.3 复合地基

11.3.1 复合地基设计前，应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，以确定设计参数和处理效果。

11.3.2 水泥土搅拌桩复合地基处理应符合下列规定：

- a) 适用于处理正常固结的淤泥、淤泥质土、素填土、黏性土(软塑、可塑)、粉土(稍密、中密)、粉细砂(松散、中密)、中粗砂(松散、稍密)、饱和黄土等土层。不适用于含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土、欠固结的淤泥和淤泥质土、硬塑及坚硬的黏性土、密实的砂类土，以及地下水渗流影响成桩质量的土层。当地基土的天然含水量小于 30%(黄土含水量小于 25%)时不宜采用粉体搅拌法。冬期施工时，应考虑负温对处理地基效果的影响。
- b) 水泥土搅拌桩的施工工艺分为浆液搅拌法(以下简称湿法)和粉体搅拌法(以下简称干法)。可采用单轴、双轴、多轴搅拌或连续成槽搅拌形成柱状、壁状、格栅状或块状水泥土加固体。
- c) 对采用水泥土搅拌桩处理地基，除应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 要求进行岩土工程详细勘察外，尚应查明拟处理地基土层的 pH 值、塑性指数、有机质含量、地下障碍物及软土分布情况、地下水位及其运动规律等。

- d) 设计前, 应进行处理地基土的室内配比试验。针对现场拟处理地基土层的性质, 选择合适的固化剂、外掺剂及其掺量, 为设计提供不同龄期、不同配比的强度参数。对竖向承载的水泥土强度宜取 90d 龄期试块的立方体抗压强度平均值。
- e) 增强体的水泥掺量不应小于 12%, 块状加固时水泥掺量不应小于加固天然土质量的 7%; 湿法的水泥浆水灰比可取 0.5~0.6。

11.3.3 水泥土搅拌桩用于处理泥炭土、有机质土、pH 值小于 4 的酸性土、塑性指数大于 25 的黏土, 或在腐蚀性环境中以及无工程经验的地区使用时, 必须通过现场和室内试验确定其适用性。

11.3.4 旋喷桩复合地基处理应符合下列规定:

- a) 适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土(流塑、软塑和可塑)、粉土、砂土、黄土、素填土和碎石土等地基。对土中含有较多的大直径块石、大量植物根茎和高含量的有机质, 以及地下水流速较大的工程, 应根据现场试验结果确定其适应性。
- b) 旋喷桩施工, 应根据工程需要和土质条件选用单管法、双管法和三管法; 旋喷桩加固体形状可分为柱状、壁状、条状或块状。
- c) 在制定旋喷桩方案时, 应搜集邻近建筑物和周边地下埋设物等资料。
- d) 旋喷桩方案确定后, 应结合工程情况进行现场试验, 确定施工参数及工艺。

11.3.5 旋喷桩加固体强度和直径, 应通过现场试验确定。

11.3.6 水泥粉煤灰碎石桩复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土和自重固结已完成的素填土地基。对淤泥质土应按地区经验或通过现场试验确定其适用性。

11.3.7 水泥粉煤灰碎石桩复合地基设计应符合下列规定:

- a) 水泥粉煤灰碎石桩, 应选择承载力和压缩模量相对较高的土层作为桩端持力层。
- b) 桩径: 长螺旋钻中心压灌、干成孔和振动沉管成桩宜为 350mm~600mm; 泥浆护壁钻孔成桩宜为 600mm~800mm; 钢筋混凝土预制桩宜为 300mm~600mm。
- c) 桩间距应根据基础形式、设计要求的复合地基承载力和变形、土性及施工工艺确定: 采用非挤土成桩工艺和部分挤土成桩工艺, 桩间距宜为 (3~5) 倍桩径; 采用挤土成桩工艺的桩间距宜为 (3~6) 倍桩径。

GDJT xxx-xx-20xx

d) 桩长范围内有饱和粉土、粉细砂、淤泥、淤泥质土层，采用长螺旋钻中心压灌成桩施工中可能发生窜孔时宜采用较大桩距。

11.3.8 复合地基宜在基础和桩顶之间设置褥垫层。褥垫层厚度宜为 150mm~300mm，褥垫层材料可选用中砂、粗砂和级配砂石等，褥垫层最大粒径不宜大于 20mm。褥垫层的夯填度不应大于 0.9。

11.3.9 兼做承压桩的抗浮桩，桩身的耐久性设计需同时满足承压、抗浮两种工况下的要求，且承压状态下隧道主体结构受力分析应考虑抗浮桩与地基土间的变形协调。

12 防水与排水设计

12.1 一般规定

12.1.1 公路下沉式隧道防排水设计应遵循“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理”的原则，妥善处理地表水、地下水，洞内外防排水系统应完整通畅。

12.1.2 隧道防排水系统应与隧道主体结构、运营期间的排水设施统筹设计，确保系统完整、衔接顺畅、维护便利。

12.1.3 采取的隧道防排水措施，应注意保护自然环境。

12.2 防水

12.2.1 公路下沉式隧道防水设计，应根据环境条件、环境作用等级、设计使用年限、结构特点、施工方法等因素进行，满足结构的安全、耐久性和使用要求。

12.2.2 公路下沉式隧道防水设计应遵循“以结构自防水为根本，以接缝防水为重点，多道防线，综合治理”的原则，采取与其相适应的防水措施。

12.2.3 公路隧道防水等级应根据工程的重要性、设计使用年限等按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB50108 选用不小于二级。二级标准应符合以下规定：

- a) 整条隧道平均渗漏量不应大于 $0.05L/(m^2 \cdot d)$ ，隧道内任意 $100m^2$ 的平均渗漏量不应大于 $0.15L/(m^2 \cdot d)$ 。
- b) 隧道内表面湿渍不应大于总内表面积的 $2/1000$ ，任意 $100m^2$ 内的湿渍不应大于 3 处，单个湿渍的最大面积不应大于 $0.2 m^2$ 。

12.2.4 公路下沉式隧道主体结构应采用防水混凝土，防水混凝土抗渗等级应根据地下工程埋深确定，并根据防水等级的要求采取其它防水措施，抗渗等级应符合表 274 规定。

表 36 防水混凝土抗渗等级

工程埋置深度 (m)	设计抗渗等级
$H < 10$	P8
$10 \leq H < 20$	P10
$H \geq 20$	P12

注：混凝土抗渗等级不宜小于 P8。

GDJT xxx-xx-20xx

12.2.5 公路下沉式隧道结构底板的混凝土垫层，强度等级不应小于 C20，厚度不应小于 100mm，在软弱土层中不应小于 150mm。

12.2.6 防水混凝土结构厚度不应小于 250mm，其裂缝宽度应符合《地下工程防水技术规范》GB50108 及《公路隧道设计细则》JTG/T D70 的相关规定，并不得出现贯通裂缝。

12.2.7 公路下沉式隧道模筑混凝土施工缝、沉降缝、伸缩缝应采取可靠的防水措施。

12.2.8 公路下沉式隧道现浇结构应采用防水混凝土浇筑，防水措施应按表 37 的规定选用。

表 37 现浇结构防水措施

工程部位		防水措施	选用原则
主体结构	一级	外贴防水卷材 外涂防水涂料 膨润土防水材料	选用 1 种~2 种
	二级	防水砂浆 金属防水板	应选 1 种
施工缝	一级	遇水膨胀止水条(胶) 外贴式止水带 中埋式止水带	应选 2 种
	二级	外抹防水砂浆 外涂防水涂料 渗透结晶型防水材料 预埋式注浆管	选用 1 种~2 种
后浇带	补偿收缩混凝土		一级、二级必选
	一级	外贴式止水带 预埋式注浆管	应选 2 种
	二级	遇水膨胀止水条(胶)	选用 1 种~2 种
变形缝	中埋式止水带		一级、二级必选
	一级	外贴式止水带 可卸式止水带 防水密封材料	应选 2 种
	二级	外贴防水卷材 外涂防水涂料	选用 1 种~2 种

12.2.9 当支护结构（地下连续墙或支护桩）作为主体结构侧墙外模时，应采用预铺反粘防水卷材作防水层。

12.2.10 现浇结构混凝土施工缝的施工应符合下列规定：

- a) 水平施工缝浇筑混凝土前，应将其表面浮浆和杂物清除，然后铺设净浆活涂刷混凝土界面处理剂、水泥基渗透结晶型防水涂料等材料，再铺 30~50mm 厚的 1:1 水泥砂浆，并及时浇筑混凝土；
- b) 垂直施工缝浇筑混凝土前，应将其表面清理干净，再涂刷混凝土界面剂或水泥基渗透结晶型防水涂料，并及时浇筑混凝土；
- c) 施工缝中埋设的遇水膨胀橡胶止水条（胶）、预埋注浆管等应牢固地安装在缝表面或预留槽内。遇水膨胀橡胶止水条（胶）应具有缓膨胀性能，7d 的膨胀率不应大于最终膨胀率的 60%，最终膨胀率宜大于 220%。

12.2.11 中等以上腐蚀环境中的隧道混凝土外防水层的选用与设置应符合如下要求：

- a) 在迎水面或复合式衬砌之间宜设置全包柔性外防水层，并根据顶、底板防水层的特性考虑保护措施。
- b) 当耐久性设计中考虑设置防腐蚀层时，外防水层的设计应与防腐蚀层相结合。

12.2.12 叠合结构中地下连续墙防水应符合下列要求：

- a) 混凝土的抗渗等级应不小于 P8，最小强度等级为 C35，最大水胶比为 0.5，胶凝材料的用量为 350kg/m³~420kg/m³。
- b) 墙体及接头的渗漏水，宜根据渗漏量的大小，采用水泥基渗透结晶型防水材料或聚氨酯类注浆材料等进行处理，待无明显渗水后，再进行内部结构施工。

12.2.13 桩头防水应符合下列要求：

- a) 桩头所用防水材料应具有良好的粘结性、湿固化性；
- b) 坡桩后如发现渗漏水，应及时采取堵漏措施；
- c) 涂刷水泥基渗透结晶防水涂料时，应连续、均匀，不得少涂或漏涂，并应及时进行养护；
- d) 采用其他防水材料时，基面应符合施工要求；
- e) 应对遇水膨胀止水条（胶）进行保护。

12.2.14 防水层的保护层与桩头间应留凹槽并嵌填密封材料。桩头顶部及侧面至密封槽均应做防水处理，桩头防水涂料应刷至桩头面以下 150mm，以保证与底板防水层搭接；钢筋根部应采用遇水膨胀止水胶密封。

12.3 排水

12.3.1 公路下沉式隧道排水应分类集中，采用高水高排、低水低排互不连通的系统就近排放。纳入城市水体或城市排水管网的各类废水水质应符合现行国家标准《污水综合排放标准》GB 8978 和现行行业标准《污水排入城镇下水道水质标准》CJ 343 的规定。

12.3.2 公路下沉式隧道排水系统的选择应符合下列规定：

- a) 排水系统的选择应根据污、废水的性质，并结合室外市政排水体制确定。
- b) 隧道冲洗废水、渗漏水、消防废水及引道段的雨水应分类集中，雨水就近排入市。雨水管网或合流管网，废水应排入污水管网或合流管网。

12.3.3 排水泵房的设置应符合下列规定：

- a) 公路下沉式隧道敞开段雨水泵房宜靠近洞口设置，雨水泵房的设计规模应按雨水计算流量的 1.2 倍确定，泵房集水池的有效容积不宜小于设计选用的最大一台泵 5min 的出水量，并应满足水泵的安装检修要求。
- b) 雨水泵房内应设置备用泵，且水泵总数不宜少于 3 台。
- c) 废水泵房排水量按消防水量计，宜设置备用泵，废水泵宜选用带自耦及反冲洗装置的潜水排污泵。
- d) 公路下沉式隧道内雨、废水由泵提升后就近排出隧道，必须经地面压力窰井后再纳入市政排水管道。
- e) 自动启停控制系统需采用不少于两套相互验证的自动控制系统，有条件的增设水标尺和远程水平监控系统。

12.3.4 公路下沉式隧道内排水收集系统的布置应符合下列规定：

- a) 隧道接地点必须设置驼峰、横截沟或其它有效措施，防止地面雨水进入隧道。
- b) 隧道敞开段雨水和隧道内渗漏水、冲洗废水及消防废水可采用边沟、横截沟或管道收集。
- c) 隧道洞口拦截雨水的横截沟不宜少于 2 道，且在路侧位置宜互相连通。

- d) 设置在车道上的排水横截沟盖板应考虑防跳起构造设计，宜采用盖板和盖座整体浇铸的一体化结构排水沟。
- e) 隧道路面应设纵向排水边沟，排水边沟的坡度应与道路路面纵坡一致。
- f) 隧道洞口出洞方向的路堑为上坡时，可在洞口外路基两侧设置反向排水沟或采取引排措施，洞外水不应流入隧道。

12.3.5 公路下沉式隧道内排水标准应满足下列要求：

- a) 根据工程的地理位置以及重要程度，合理选择暴雨重现期；隧道敞开段部分的暴雨重现期根据不同等级公路考虑，其中高速公路和一级公路按 50 年，其余二级及以下公路不应小于 20 年，径流系数都为 0.9。
- b) 结构渗水量宜按 $0.15L/d \cdot m^2$ 计。
- c) 隧道排水量按消防水量计。

13 附属工程

13.1 一般规定

13.1.1 隧道路面、电缆沟、预留预埋、洞口景观及减光构造物等附属工程，应根据功能设置。

13.1.2 附属工程的设计使用年限不应高于主体结构，与主体结构施作成整体且不可更换的预留洞室及预埋件，设计使用年限宜与主体结构一致。设计使用年限低于主体结构的附属工程，应在其维修及更换过程中不对主体结构产生有害影响。

13.1.3 附属工程设计应与主体工程协调，方便施工及后期维修，并保证美观效果。

13.2 隧道路基与路面

13.2.1 隧道路基应为稳定、密实、匀质路基，满足为路面结构提供均匀的支承。隧道路面应具有足够的强度、平整、耐久抗滑耐磨等性能。

13.2.2 隧道路面结构应根据交通量、设计速度平纵线形指标、当地环境条件、材料供应情况、全寿命周期费用分析等因素，进行经济、技术比较后确定。

13.2.3 路基挡墙敞开段路基、路床、路面结构设计应满足JTG D30要求。

13.2.4 隧道U形敞开段和矩形封闭段压重层可为路面基层，其材料应满足本文件第7章的相关规定。

13.2.5 高速公路、一级公路隧道宜采用沥青混合料上面层与混凝土下面层组成的复合式路面。其他等级公路隧道可采用复合式路面或水泥混凝土路面。

13.2.6 隧道路面结构设计应满足JTG 3370.1-2018中15.3要求。

13.3 电缆沟

13.3.1 应根据机电工程和消防工程需要设置电缆沟，电缆沟宜布置在两侧检修道下。

13.3.2 电缆沟尺寸应根据隧道内电缆、消防管布置需求拟定断面形式和尺寸，应考虑便于电缆、消防管的敷设和维护。

13.3.3 电缆沟盖板应能承受人行荷载。盖板应按一定距离设开启吊钩或开启孔或开启缝，盖板顶面应与路缘石顶面平齐。

13.3.4 电缆沟外侧壁应采用钢筋混凝土结构，应确保受车辆撞击后，管内设施不被损坏。

13.3.5 电缆沟应满足自流排水要求。

13.4 预留预埋

13.4.1 应根据隧道交通工程与设施的要求进行洞内预留、预埋及构造物设计，预留、预埋及构造物设计应与相关专业进行协调。

13.4.2 预留洞室和预埋件应能保证隧道结构的稳定和结构强度，不应损害隧道主体结构。

13.4.3 预留洞室尺寸应满足设备放置和维护操作空间的要求。

13.4.4 预留洞室应避开结构变形缝和施工缝布置，避开距离不宜小于1.5m。

13.4.5 预留洞室应做好防水设计，预留洞室内应不渗不漏。

13.4.6 隧道内各种设施的悬挂及安装预埋件应根据其承重和耐久性要求，进行强度和防腐设计，并应符合下列规定：

- a) 隧道内预埋件设计使用年限，应与结构设计使用年限一致；
- b) 有承重要求的预埋件，应满足使用承载力要求；
- c) 吊挂风机的预埋件承载力不应小于15倍的风机重量荷载；
- d) 预埋在结构内的各种管线，应置于构件截面的中部，管壁距构件内外侧边缘不应小于100mm。

13.4.7 预埋在主体结构内的各种管线，应置于截面的中部，管壁距结构内外侧边缘不应小于10cm。

13.4.8 在有强电敷设的隧道，应根据电专业要求预埋接地扁钢，预埋接地要求应由电专业具体设计。

13.5 洞口景观

13.5.1 隧道洞口宜结合隧道结构、洞口边坡形式、洞外自然和人文景观、绿化设计等进行洞口景观设计。

13.5.2 洞口景观设计应以功能为主导，避免过度设计，洞口形式和色彩不应过分突出，以免影响驾驶安全。

13.5.3 洞口景观设计应简洁大方，并与隧道洞外自然和人文景观、绿化设计相协调。

13.6 洞口减光构造物

13.6.1 洞口减光构造物设计应考虑隧道所处地理位置、洞口地形与朝向、设计行车速度及交通量特征等因素，并应兼顾美观协调、取材方便及施工便利等因素。

13.6.2 隧道所处地区阳光强烈，雨天较多，可能引起车辆滑移时，宜设置封闭式的减光构造物，并应考虑减光构造物对隧道通风及照明的不利影响。

GDJT xxx-xx-20xx

13.6.3 隧道出入口受阳光直射影响时，减光构造物设计应能有效减轻阳光直接射入驾驶员视线范围，达到减光和防眩的效果。

13.6.4 隧道洞口减光构造物的长度应根据隧道设计车速、纵坡、交通量及洞口亮度等因素综合确定。减光构造物内纵向亮度分布应满足隧道出入口照明设计要求。

13.6.5 隧道洞口段照明设计、通风设计及洞口防排水设计应考虑减光构造物的影响。隧道洞口位于城镇附近时，洞口减光构造物应与周边环境及景观协调。

附录 A

(规范性附录)

桩墙支护结构增量法计算

A.1 把排桩、地下连续墙等支挡结构看作为一竖向的弹性地基梁，在土体和支点（支撑或锚杆）的支承下承受主动侧的土压力作用。

A.2 增量法模拟加支点和开挖过程，采用荷载增量法，计算施工每一步增量荷载对支护结构产生的内力和位移增量。最后结果为各增量步结果的叠加。

A.3 对多支点支护结构，增量法计算各增量步的过程如下（图 A.1）：

a) 受力体系作为一个竖放的弹性地基梁，增量荷载为挡土侧的增量主动土压力荷载，土压力荷载在开挖面以下为矩形荷载，支点弹簧刚度可按材料力学方法，按受压或受拉杆件的弹簧刚度定义来计算；

b) 第一增量步：悬臂状态下开挖至第一道支点以下，开挖深度以便于放置第一道支点为准（图 A.1(b)）；

c) 第二增量步：在支点处施加预加力，把预加力作为外力增量作用于支护结构上（图 A.1(c)）；

d) 第三增量步：继续开挖至第二道支点以下，开挖深度以便于放置第二道支点为准，此时的增量荷载为土压力增量和该步挖去的土体的抗力反作用于支护结构上（图 A.1(d)）；

e) 第四增量步：安置第二道支撑或锚杆后，继续开挖土石方。此时的增量荷载为增量土压力和挖去的土体的抗力反向作用于支护结构上（图 A.1(e)）；

f) 如此增量分步计算，直至开挖到基坑底以及支撑拆除。

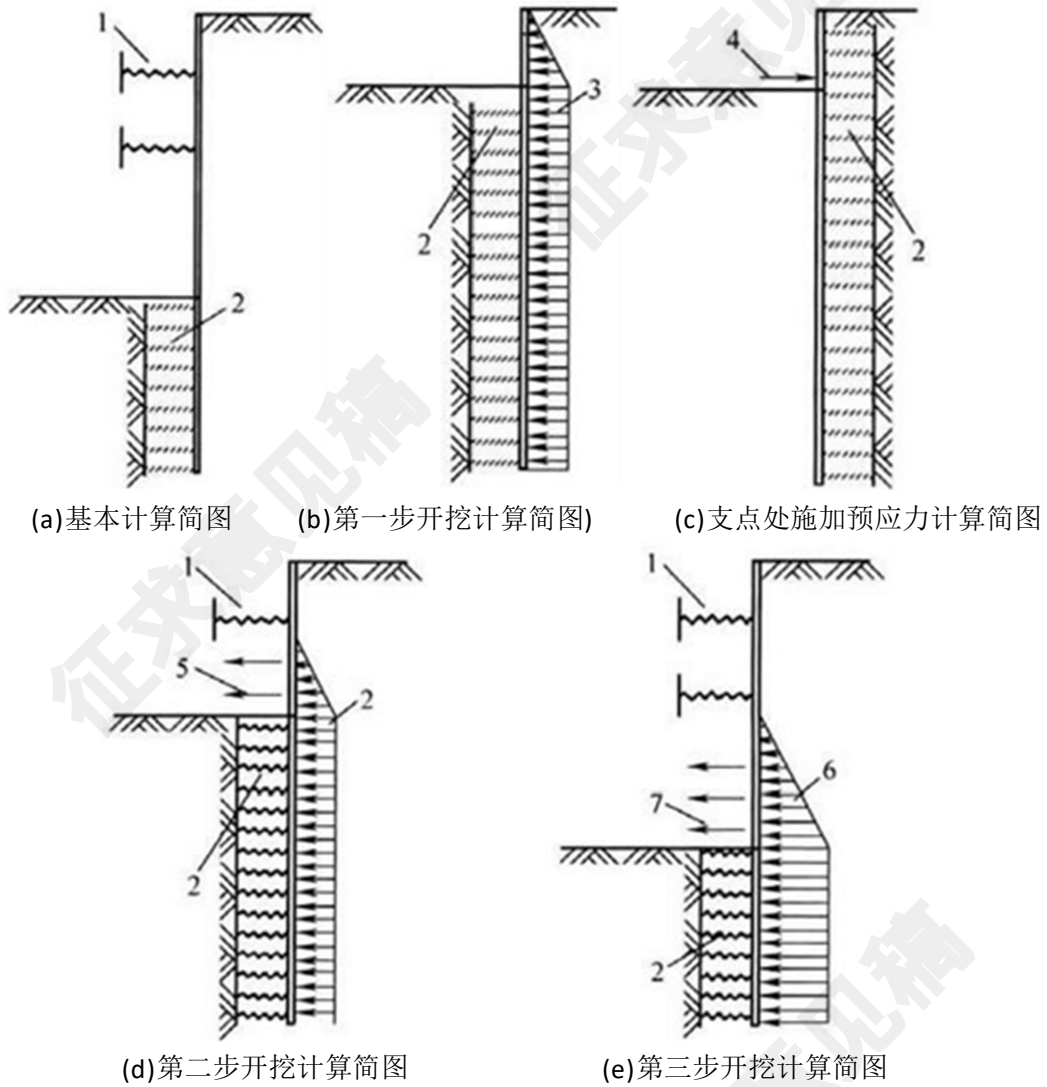


图 A.1 增量法计算简图

说明:

1—支点弹簧;

2—土弹簧;

3—主动土压力;

4—支撑(锚索)预应力;

5—挖去的土体抗力;

6—主动土压力增量;

7—新挖去的土体抗力

A.4 每一增量步支护结构内力和变形的计算可采用结构力学方法或杆件有限元法对弹性地基梁进行计算。

附录 B

(规范性附录)

正截面受弯承载力计算

B.1 周边均匀配置纵向钢筋的圆形截面和矩形截面的排桩、地下连续墙，其正截面受弯承载力可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定进行计算。

B.2 沿截面受拉区和受压区周边配置局部均匀纵向钢筋或集中纵向钢筋的圆形截面混凝土桩（图 B.1），其正截面受弯承载力可按下列公式计算：

$$\alpha f_{cm} A \left(1 - \frac{\sin 2\pi\alpha}{2\pi\alpha} \right) + f_y (A'_{sr} + A'_{sc} - A_{sr} - A_{sc}) = 0 \quad (\text{B.1})$$

$$M \leq \frac{2}{3} f_{cm} A r \frac{\sin^3 \pi\alpha}{\pi} + f_y A_{sr} r_s \frac{\sin \pi\alpha_s}{\pi\alpha_s} + f_y A_{sc} y_{sc} + f_y A'_{sr} r_s \frac{\sin \pi\alpha'_s}{\pi\alpha'_s} + f_y A'_{sc} y'_{sc} \quad (\text{B.2})$$

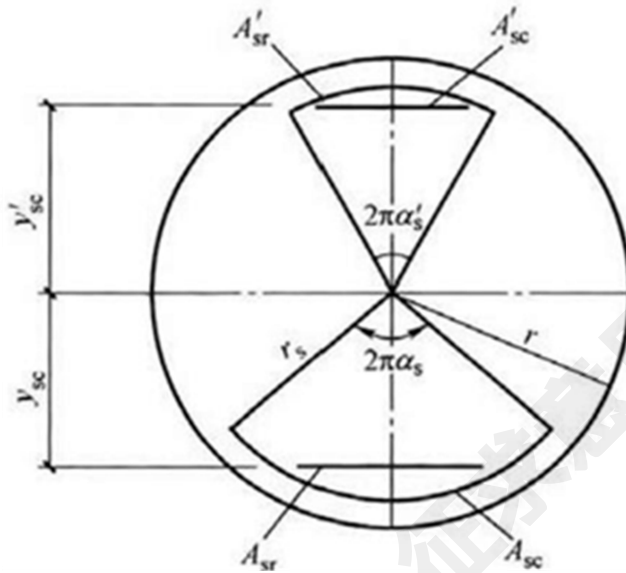


图 C.1 配置局部均匀配筋和集中配筋的圆形截面

选取的距离 y_{sc} 、 y'_{sc} 应符合下列条件：

$$y_{sc} \geq r_s \cos \pi\alpha_s \quad (\text{B.3})$$

$$y'_{sc} \geq r_s \cos \pi\alpha'_s \quad (\text{B.4})$$

混凝土受压区圆心半角的余弦应符合下列规定：

$$\cos\pi\alpha \geq 1 - \left(1 + \frac{r_s}{r} \cos\pi\alpha_s\right) \xi_b \quad (\text{B.5})$$

式中：

α ——对应于受压区混凝土截面面积的圆心角 (rad) 与 2π 的比值；

α_s ——对应于周边均匀受拉钢筋的圆心角 (rad) 与 2π 的比值；宜在 1/6 至 1/3 之间取值，通常可取定值 0.25；

α'_s ——对应于周边均匀受压钢筋的圆心角 (rad) 与 2π 的比值，宜取 $\alpha'_s \leq 0.5\alpha$ ；

A_{sr} 、 A'_{sr} ——均匀配置在圆心角 $2\pi\alpha_s$ 、 $2\pi\alpha'_s$ 内沿周边的纵向受拉、受压钢筋截面面积 (m²)；

A_{sc} 、 A'_{sc} ——集中配置在圆心角 $2\pi\alpha_s$ 、 $2\pi\alpha'_s$ 的混凝土弓形面积范围内的纵向受拉、受压钢筋截面面积 (m²)；

r ——圆形截面的半径 (m)；

r_s ——纵向钢筋所在圆周的半径 (m)；

y_{sc} 、 y'_{sc} ——纵向受拉、受压钢筋截面面积 A_{sc} 、 A'_{sc} 的重心至圆心的距离 (m)；

f_y ——普通钢筋的抗拉强度设计值 (kPa)；

f_{cm} ——混凝土弯曲抗压强度设计值 (kPa)；

ξ_b ——矩形截面的相对界限受压区高度 (m)，应按《混凝土结构设计规范》GB 50010 第 6.2.7 条规定确定。

计算的受压区混凝土截面面积的圆心角 (rad) 与 2π 的比值 α 宜符合下列条件：

$$\alpha \geq \frac{1}{3.5} \quad (\text{B.6})$$

当不符合上述条件时，其正截面受弯承载力可按下列式计算：

$$M \geq f_y A_{sr} \left(0.78r + r_s \frac{\sin\pi\alpha_s}{\pi\alpha_s}\right) + f_y A_{sc} (0.78r + y_{sc}) \quad (\text{B.7})$$

B.3 沿圆形截面受拉区和受压区周边实际配置均匀纵向钢筋的圆心角应分别取为 $2\frac{n-1}{n}\pi\alpha_s$ 和

GDJT xxx-xx-20xx

$2 \frac{m-1}{m} \pi \alpha'_s$, n、m 为受拉区、受压区配置均匀纵向钢筋的根数。

B.4 配置在圆形截面受拉区的纵向钢筋的最小配筋率（按全截面面积计算）不宜小于 0.2%。在不配置纵向受力钢筋的圆周范围内应设置周边纵向构造钢筋，纵向构造钢筋直径不应小于纵向受力钢筋直径的二分之一，且不应小于 10mm；纵向构造钢筋的间距不应大于圆截面的半径和 250mm 两者的较小值。

附录 C

(资料性附录)

圆弧滑动条分法

- C.1 整体滑动稳定性验算可采用圆弧滑动条分法。
- C.2 所有滑动体中，抗滑力矩与滑动力矩比值的最小值应符合下列规定：

$$\gamma_0 \gamma_k M_s \leq M_R + M_r \quad (\text{C.1})$$

$$\frac{M_R + M_r}{M_s} = \min \left\{ \left(\frac{M_R + M_r}{M_s} \right)_1, \left(\frac{M_R + M_r}{M_s} \right)_2, \dots \right\} \quad (\text{C.2})$$

式中：

γ_k ——整体滑动稳定性安全系数， γ_k 不应小于 1.3；

M_s ——滑动土体的滑动力矩标准值（kN·m）；

M_R ——滑动面上土的抗滑力矩标准值（kN·m）；

M_r ——单个锚杆在滑动面外的锚固段对单位长度滑动体的抗滑力矩标准值之和（kN·m）。

- C.3 对最危险滑动面的圆弧滑动体，其抗滑力矩与滑动力矩的比值可按照下列公式计算(图 C.1)：

$$\frac{M_R + M_r}{M_s} = \frac{\sum c_i l_i + \sum (q_i b_i + \Delta G_i) \cos \theta_i \tan \varphi_i + \sum N_{R,j} \cos(\theta_i + \alpha_j) / S_j + \xi \sum N_{R,j} \sin(\theta_i + \alpha_j) / S_j}{\sum (q_i b_i + w_i) \sin \theta_i} \quad (\text{C.3})$$

式中：

c_i ——第 i 土条滑弧面上土层的黏聚力（kPa）；

φ_i ——第 i 土条滑弧面上土层的摩擦角（°）；

l_i ——第 i 土条上的滑弧面弧长（m）；

q_i ——作用在第 i 土条上的附加分布荷载值（kN）；

b_i ——第 i 土条的宽度（m）；

GDJT xxx-xx-20xx

ΔG_i ——第 i 土条的重量 (kN);

θ_i ——第 i 土条滑弧面中点处的切线与水平面的夹角 ($^\circ$);

$N_{R,j}$ ——第 j 个支点的锚杆或支撑对圆弧滑动体的轴向拉力标准值 (kN);

α_j ——第 j 个支点的锚杆或支撑与水平面的夹角 ($^\circ$);

S_j ——第 j 个支点的锚杆或支撑的水平间距 (m); 当支撑与两侧相邻支撑的间距不同时,

取 $S = (S_1 + S_2)/2$;

ξ ——经验系数, 取 $\xi = 0.5$ 。

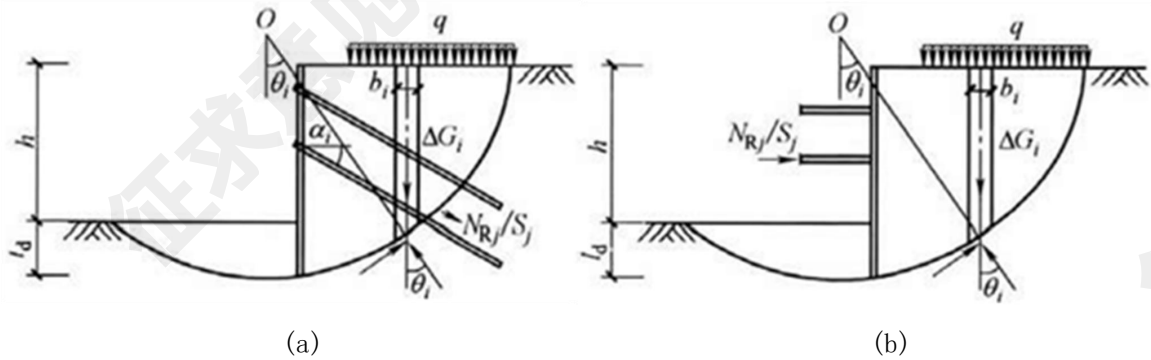


图 C.1 圆弧滑动条分法整体稳定性验算

C.4 嵌固深度下部存在的软弱土层, 尚应继续验算其整体稳定性。

附录 D

(规范性附录)

荷载结构法

D.1 设计原理

D.1.1 荷载结构法的设计原理，是认为隧道开挖后地层的作用主要是对衬砌结构产生荷载，衬砌结构应能安全可靠地承受地层压力等荷载的作用。

D.1.2 计算时先按地层分类法或由实用公式确定地层压力，然后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。

D.2 计算原理

D.2.1 基本未知量与基本方程

a) 取衬砌结构结点的位移为基本未知量。由最小势能原理或变分原理可得系统整体求解时的平衡方程为：

$$[K]\{\delta\} = \{P\} \quad (D.1)$$

式中：

$\{\delta\}$ ——由衬砌结构结点位移组成的列向量，即 $\{\delta\} = [\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m]^T$ ；

$\{P\}$ ——由衬砌结构结点荷载组成的列向量，即 $\{P\} = [P_1, P_2, \dots, P_m]^T$ ；

$[K]$ ——衬砌结构的整体刚度矩阵，为 $m \times m$ 阶方阵， m 为体系结点自由度的总个数。

b) 矩阵 $\{P\}$ 、 $[K]$ 和 $\{\delta\}$ 可由单元的荷载矩阵 $\{P\}^e$ 、单元的刚度矩阵 $[k]^e$ 和单元的位移向量矩阵 $\{\delta\}^e$ 组装而成，故在采用有限元方法进行分析时，需先划分单元，建立单元刚度矩阵 $[k]^e$ 和单元荷载矩阵 $\{P\}^e$ 。

c) 隧道承重结构轴线的形状为弧形时，需用折线单元模拟曲线。划分单元时，只需确定杆件单元的长度。杆件厚度 d 即为承重结构的厚度，杆件宽度取为 1 (m)。相应的杆件横截面积为 $A = d \times 1$ (m²)，抗弯惯性矩为 $I = \frac{1}{12} \times 1 \times d^3$ (m⁴)，弹性模量 E (kN/m²) 取为混凝土的弹性模量。

D.2.2 单元刚度矩阵的计算

a) 设梁单元在局部坐标系下的结点位移为 $\{\bar{\delta}\} = [\bar{u}_i, \bar{v}_i, \bar{\theta}_i, \bar{u}_j, \bar{v}_j, \bar{\theta}_j]^T$, 对应的结点力为 $\{\bar{f}\} = [\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{M}_i, \bar{X}_j, \bar{Y}_j, \bar{M}_j]^T$, 则有:

$$\{\bar{f}\} = [\bar{k}]^e \{\bar{\delta}\} \quad (D.2)$$

其中, $[\bar{k}]^e$ 为梁单元在局部坐标系下的刚度矩阵, 并有:

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

式中:

l ——梁单元的长度;

A ——梁的截面面积;

I ——梁的惯性矩;

E ——梁的弹性模量。

b) 对于整体结构而言, 各单元采用的局部坐标系均不相同, 故在建立整体矩阵时, 需按式

(D.4) 将局部坐标系中的单元刚度矩阵 $[\bar{k}]^e$ 转换成结构整体坐标系中的单元刚度矩阵 $\{k\}^e$:

$$\{k\}^e = [T]^T [\bar{k}]^e [T] \quad (D.4)$$

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos\beta & \sin\beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\beta & \cos\beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\beta & \sin\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (D.5)$$

式中:

β ——局部坐标系与整体坐标系之间的夹角 ($^{\circ}$)。

D.2.3 地层反力作用模式

a) 地层弹性抗力由下式给出:

$$F_n = K_n \cdot U_n \quad (D.6)$$

$$F_s = K_s \cdot U_s \quad (D.7)$$

$$K_n = \begin{cases} K_n^+ & U_n \geq 0 \\ K_n^- & U_n < 0 \end{cases} \quad (D.8)$$

$$K_s = \begin{cases} K_s^+ & U_s \geq 0 \\ K_s^- & U_s < 0 \end{cases} \quad (D.9)$$

式中:

F_n 、 F_s ——法向和切向弹性抗力;

K_n 、 K_s ——法向和切向围岩弹性抗力系数; K^+ 、 K^- 分别为压缩区和拉伸区的抗力系数,通常令 $K_n^- = K_s^- = 0$ 。

b) 杆件单元确定后,即可确定地层弹簧单元,它只设置在杆件单元的结点上。地层弹簧单元可沿整个截面设置,也可只在部分结点上设置。沿整个截面设置地层弹簧单元进行计算,用迭代法作变形控制分析,以判断出抗力区的确切位置。

附录 E

(资料性附录)

周边环境各建(构)筑物、管线变形控制值

E.1 从基坑边缘以外 1~3 倍基坑开挖深度范围内需要保护的建(构)筑物、地下管线等均应作为监测对象。必要时,尚应扩大监测范围。

E.2 基坑工程周边环境监测预警值应根据监测对象主管部门的要求或建筑检测报告的结论确定,当无具体控制值时,可按表 E.1 确定。

表 E.1 基坑工程周边环境监测预警值

			累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	备注
1	地下水位变化		1000~2000 (常年变幅以外)	500	
2	管线位移	刚性管道	压力 10~20	2	直接观察 点数据
			非压力 10~30	2	
	柔性管线		10~40	3~5	
3	邻近建筑位移		小于建筑物地基变形允许值	2~3	
4	邻近道路路基沉降	高速公路、道路主干	10~30	3	
		一般城市道路	20~40	3	
5	裂缝宽度	建筑结构性裂缝	1.5~3 (既有裂缝) 0.2~0.25 (新增裂缝)	持续发展	
		地表裂缝	10~15 (既有裂缝) 1~3 (新增裂缝)	持续发展	
<p>注 1: 建筑整体倾斜度累计值达到 2/1000 或倾斜速度连续 3d 大于 0.0001H/d (H 为建筑承重结构高度) 时应预警;</p> <p>注 2: 建筑物地基变形允许值应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定取值。</p>					

E.3 建(构)筑物监测项目控制值的确定应符合下列规定:

E.3.1 建（构）筑物监测项目控制值应在调查分析建（构）筑物使用功能、建筑规模、修建年代、结构形式、基础类型、地质条件等的基础上，结合其与工程的空间位置关系、已有沉降、差异沉降和倾斜以及当地工程经验进行确定，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定。

E.3.2 对风险等级为一级、二级的建（构）筑物，宜通过结构检测、计算分析和安全性评估等确定建（构）物的沉降、差异沉降和倾斜控制值。

E.3.3 当无地方工程经验时，对于风险等级较低且无特殊要求的建（构）筑物，沉降控制值宜为10mm~30mm，变化速率控制值宜为1mm/d~3mm/d，差异沉降控制值宜为0.001l~0.002l（l为相邻基础的中心距离）。

E.4 地下管线监测项目控制值的确定应符合下列规定：

E.4.1 地下管线监测项目控制值应在调查分析管线功能、材质、工作压力、管径、接口形式、埋置深度、铺设方法、铺设年代等的基础上，结合其与工程的空间位置关系和当地工程经验进行确定。

E.4.2 对风险等级较高的地下管线，宜通过专项调查、计算分析和安全性评估确定其沉降和差异沉降控制值。

E.4.2 当无地方工程经验时，对风险等级较低且无特殊要求的地下管线沉降及差异沉降控制值可按表E.2确定。

表 E.2 地下管线沉降及差异沉降控制值

管线类型	沉降		差异沉降（mm）
	累计值（mm）	变化速率（mm/d）	
燃气管道	10~30	2	0.3% L_g
雨污水管	10~20	2	0.25% L_g
供水管	10~30	2	0.25% L_g

注1：燃气管道的变形控制值适用于100mm~400mm的管径；
注2： L_g ——管节长度。

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

附录 F

(资料性附录)

建(构)筑物所造成地面超载计算方法

F.1 基坑周边有浅基础建(构)筑物,一般按每层 15KPa 的附加荷载计算地面超载,但最大取值不超过基础持力层的地基承载力特征值。

F.2 基坑周边有桩基础建(构)筑物:

F.2.1 若桩端浅于基坑底部或超过基坑底部不多时,则应按每层 15KPa 取值,总荷载要乘以层数,作用深度位于桩端处。

F.2.2 若桩端远深于基坑底时,深层桩基荷载对浅层土的扰动极小,简化为 15kPa 地面均布荷载,荷载作用于地面,可避免过度保守或计算繁琐。