

ICS 93.080

CCS P 66

DB37

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 4507—2022

公路双向八车道大跨度隧道技术规范

Technical specification for large-span highway tunnel of bi-directional eight-lane

2022-05-16 发布

2022-06-16 实施

山东省市场监督管理局 发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 隧道调查及围岩分级 1

 4.1 隧道调查 1

 4.2 围岩分级 2

5 总体设计 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 隧道位置选择 2

 5.3 隧道线形设计 2

 5.4 隧道断面设计 3

 5.5 施工要求 3

6 衬砌结构设计 4

 6.1 一般规定 4

 6.2 复合式衬砌 4

7 结构计算 5

 7.1 一般规定 5

 7.2 荷载 5

 7.3 衬砌计算 6

 7.4 洞门计算 7

8 防水与排水 7

 8.1 防水 7

 8.2 排水 7

9 小净距及连拱隧道 8

 9.1 小净距隧道 8

 9.2 连拱隧道 9

10 支护结构的耐久性设计 10

 10.1 一般规定 10

 10.2 支护措施及构造规定 10

11 隧道抗震设计 10

 11.1 一般规定 10

 11.2 衬砌抗震设计 10

12 隧道辅助施工措施设计 10

 12.1 一般规定 10

12.2 超前支护措施设计 10

13 施工方法 11

13.1 一般规定 11

13.2 开挖方法 11

14 隧道路基路面设计 13

15 隧道施工 13

15.1 施工准备 13

15.2 洞口、明洞工程 13

15.3 开挖 14

15.4 出渣与运输 14

15.5 支护与衬砌 14

15.6 防水与排水 14

15.7 不良地质和特殊岩土地段施工 14

15.8 其它附属设施工程 15

15.9 监控量测与超前地质预报 15

附录 A（资料性） 单洞四车道隧道内轮廓示例 16

A.1 概述 16

A.2 设计速度 $v=80\text{ km/h}$ 四车道隧道示例断面 16

A.3 设计速度 $v=100\text{ km/h}$ 四车道隧道示例断面 17

A.4 设计速度 $v=120\text{ km/h}$ 四车道隧道示例断面 17

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。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

公路双向八车道大跨度隧道技术规范

1 范围

本文件规定了双向八车道（单洞四车道）公路隧道土建工程的设计和施工方法。
本文件适用于以钻爆法为主要开挖手段的单洞四车道或者同等跨度的公路隧道。

2 规范性引用文件

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

GB 6722 爆破安全规程

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准

JTG B01 公路工程技术标准

JTG 2232 公路隧道抗震设计规范

JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范

JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

中壁台阶法 center diagram bench cut method

将设计开挖断面分成上下两个台阶，每个台阶分左、右两个断面，开挖上台阶先行断面后，施工中壁竖向支撑，开挖后行断面；上台阶开挖完成后，按左右两个断面开挖下台阶，先行断面开挖后拆除中壁支撑，再开挖后行断面的施工方法。

3.2

钢架岩墙组合支撑法 steel frame-rock wall combined support method

将设计开挖断面分成上下两个台阶，开挖上台阶先行断面后，施工中壁竖向钢架，开挖后行断面；上台阶开挖完成后，先行开挖下台阶两端围岩，保留中壁竖向钢架下的岩体作为岩墙，初支稳定后拆撑并开挖剩余部分岩体的施工方法。

4 隧道调查及围岩分级

4.1 隧道调查

4.1.1 当隧址区存在影响隧道方案的重大不良地质时，应进一步搜集地质资料，综合分析，预测隧道开挖后可能出现塌方、滑动、挤压、岩爆、突水涌泥、流沙及瓦斯溢出等的地段，并提出相应的工程措施，为方案比选提供依据。

- 4.1.2 应调查水文地质等自然环境，评判隧道修建过程中及修建后对周边自然环境的影响情况。
- 4.1.3 应调查社会人文、社会环境，评判隧道修建对周边社会环境的影响情况。
- 4.1.4 应调查临近既有、在建或已规划构筑物，依据相关法规和规范，评判隧道修建对其影响情况。
- 4.1.5 应调查有关法律法规，评判隧道修建是否合法合规。

4.2 围岩分级

- 4.2.1 围岩分级根据岩体修正质量指标[BQ]确定，单洞四车道隧道[BQ]宜考虑隧道跨度影响。
- 4.2.2 考虑隧道跨度影响的单洞四车道隧道岩体基本质量指标修正值宜按公式（1）计算：

$$[BQ] = BQ - 100(K_1 + K_2 + K_3 + K_4) \cdots \cdots (1)$$

式中：
 $K_1 \sim K_3$ ——使用JTG 3370.1的中界定的符号；
 K_4 ——跨度系数，取值0.4~0.5。

- 4.2.3 隧道开挖过程中，宜根据掌子面的围岩特征及时对围岩等级动态调整。

5 总体设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 隧道土建设计应贯彻动态设计与信息化施工的理念，制定围岩分级、超前地质预报和监控量测的总体方案，及时调整支护参数和施工方案。通过动态设计使支护结构适应于围岩实际情况，体现“减少围岩损伤，适度加强支护，动态调整工法”的设计理念。
- 5.1.2 隧道设计应符合国家有关国土管理、环境保护、水土保持等法规的要求。应注意节约用地，保护农田及水利设施，保护原有植被，减少山体开挖，并修复开挖后山体，处理弃渣和污水。
- 5.1.3 宜根据地质情况，综合工程投资、占地、工期等，对四车道隧道单洞和双洞方案进行比选。隧址区地质条件差，围岩判定为VI级时，不宜选择单洞四车道隧道方案。
- 5.1.4 应根据公路等级、隧道长度、施工方法、工期和营运要求，对隧道内外防排水系统、消防给水系统、辅助通道、弃渣处理、管理设施、交通工程设施、环境保护等作综合考虑。
- 5.1.5 单洞四车道隧道在初步设计阶段应进行安全风险评估。

5.2 隧道位置选择

- 5.2.1 穿越分水岭的隧道，应在较大面积地质测绘和综合地质勘探的基础上确定路线走向和平面位置。隧道规模相当时，宜选择山脊处通过。
- 5.2.2 隧道沿河傍山段，其位置宜向山侧内移，避免隧道一侧洞壁过薄、河流冲刷和不良地质对隧道稳定的不利影响。
- 5.2.3 应遵循“早进晚出”的原则，合理选定洞口位置，避免在洞口形成高边坡和高仰坡。

5.3 隧道线形设计

- 5.3.1 双洞八车道隧道应首先考虑分离式隧道形式。
- 5.3.2 分离式独立双洞的最小净距，按对两洞结构彼此不产生有害影响的原则，结合隧道平面线形、围岩地质条件、断面形状和尺寸、施工方法等因素确定，宜按表1取值。

表1 分离式独立双洞间的最小净距

围岩级别	I ~III	IV	V
最小净距 (m)	0.8×B	1.2×B	1.5×B
注：B—隧道开挖断面的宽度。			

5.3.3 在桥隧相连、地形条件限制等特殊地段隧道净距不能满足表 1 的要求时，可在洞口段采取小净距隧道形式，但应作出充分的技术论证和比较研究，并制订可靠的技术保障措施。

5.4 隧道断面设计

5.4.1 各级公路隧道建筑限界基本宽度应按照 JTG B01 和 JTG 3370.1 的要求和表 2 规定设计。

表2 公路隧道建筑限界横断面组成最小宽度

公路等级	设计速度 km/h	车道宽度 W	侧向宽度 m		余宽 C m	检修道 J 或人行道 R m		隧道建筑限界净宽 m
			左侧 LL	右侧 LR		左侧	右侧	设检修道
高速公路 一级公路	120	3.75×4	0.75	1.25	0.5	1.0	1.0	19.0
	100	3.75×4	0.75	1.00	0.25	0.75	0.75	18.25
	80	3.75×4	0.50	0.75	0.25	0.75	0.75	17.75
	60	3.50×4	0.50	0.75	0.25	0.75	0.75	16.75

5.4.2 单洞四车道隧道内侧车道（内侧第 1、2 车道）仅限小客车通行的一级公路，其车道宽度可采用 3.5 m。

5.4.3 隧道内轮廓设计除应符合隧道建筑限界的规定外，还应满足洞内路面、排水设施、装饰的需要，并为通风、照明、消防、监控、营运管理等设施提供安装空间，同时考虑围岩变形、施工方法影响的预留富裕量，使确定的断面形式及尺寸符合安全、经济、合理的原则，可参照附录 A。

5.4.4 应符合 JTG 2232 对隧道抗震设防段建筑限界与内轮廓最小间距的规定。

5.4.5 在满足隧道功能和结构受力良好的前提下，确定经济合理的断面。隧道断面宜采用三心圆曲墙形。公路等级和设计速度相同的一条公路上的隧道断面宜采用相同的内轮廓，带仰拱内轮廓扁平率不宜小于 0.63。

5.5 施工要求

5.5.1 应对施工工法调整和应急预案提出要求。

5.5.2 应要求施工过程中对围岩特征进行动态评估。

5.5.3 应对机械化作业、减少围岩损伤的措施等提出要求。

6 衬砌结构设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 单洞四车道公路隧道应采用复合式衬砌。
- 6.1.2 单洞四车道公路隧道衬砌设计应综合考虑地质条件、断面形状、支护结构、施工条件等，并减少周边围岩损伤，充分利用围岩的自承能力。
- 6.1.3 衬砌断面宜采用曲边墙拱形。
- 6.1.4 隧道洞口段应设加强衬砌。加强衬砌段的长度根据地形、地质和环境条件确定，不宜小于 20 m。
- 6.1.5 围岩较差地段的衬砌应向围岩较好地段延伸 10 m~15 m。

6.2 复合式衬砌

- 6.2.1 初期支护宜采用锚喷支护，锚杆宜采用全长粘结型。
- 6.2.2 喷射混凝土强度等级不应低于 C25，宜采用湿喷工艺，空间允许时，宜采用湿喷机械手作业；喷射混凝土的强度应符合设计强度（28 d）的规定，且 1 d 的抗压强度不宜小于 10 MPa。
- 6.2.3 初期支护锚杆应系统设置，长度不宜小于 3.5 m。
- 6.2.4 型钢钢架支护宜采用工字型钢和 H 型钢钢架，拱架型号不宜小于 I18。相邻钢架应设置纵向连接，连接钢筋直径不宜小于 22 mm。
- 6.2.5 对于隧道拱底只设置模筑仰拱，不设置初期支护的衬砌类型，宜在模筑仰拱下设置素混凝土垫层，厚度不宜小于 10 cm。
- 6.2.6 二次衬砌宜采用模筑混凝土或模筑钢筋混凝土结构，衬砌截面宜采用连接圆顺的等厚衬砌断面，仰拱与拱墙连接处厚度可适当加大。
- 6.2.7 在确定开挖断面时，除应满足隧道净空和结构尺寸外，还宜考虑初期支护并预留一定的变形量。预留变形量的大小可根据围岩级别、断面大小、埋置深度、施工方法和支护情况等，采用工程类比法预测。当无预测值时可参照表 3 选用，并应根据现场监控量测结果进行调整。

表3 预留变形量

单位为毫米

围岩级别	I	II	III	IV	V
预留变形量	10~50	50~80	60~100	80~150	120~240
注：围岩软弱破碎取大值；围岩完整取小值。					

- 6.2.8 从结构耐久性 & 构造防裂角度考虑，III级围岩二次衬砌宜设置内侧单层钢筋网。
- 6.2.9 二次衬砌混凝土强度等级应符合 JTG/T 3310 的相关规定。
- 6.2.10 复合式衬砌可采用工程类比法进行设计，并通过理论分析进行验算。初期支护及二次衬砌的支护参数可参照表 4 选用，并注意施工过程的动态调整。

表4 四车道隧道复合式衬砌的设计参数

围岩 级别	初期支护							二次衬砌厚度	
	喷射混凝土厚度		锚杆			钢筋网	钢架	拱、边 墙	仰拱
	cm		m						
	拱、边墙	仰拱	位置	长度	间距				
I	10~12	—	—	—	—	局部	—	40	—
II	12~18	—	局部	3.5~4.0	—	局部	—	45	—
III	24~26	—	拱、墙	3.5~4.0	1.0~1.5	拱、墙 @20×20	拱、墙 I18	50	50
IV	26~30	26~30	拱、墙	4.0~4.5	0.6~1.0	拱、墙 @20×20	拱、墙、仰拱 I20b	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼
V	28~32	28~32	拱、墙	4.5~6.0	0.5~0.8	拱、墙(双层) @20×20	拱、墙、仰拱 H20×20	65~70 钢筋砼	65~70 钢筋砼
注：衬砌参数根据围岩详细分级（亚级）进行选取。									

7 结构计算

7.1 一般规定

- 7.1.1 隧道衬砌应进行结构内力计算。
- 7.1.2 暗挖隧道复合式衬砌的二次衬砌以及明挖衬砌结构可采用破损阶段法和容许应力法设计。明挖衬砌结构也可采用极限状态法设计，采用极限状态法设计时应符合相关标准的规定。
- 7.1.3 混凝土结构，应进行抗裂验算，钢筋混凝土结构应验算裂缝宽度。

7.2 荷载

- 7.2.1 隧道结构荷载应按表 5 分类。

表5 荷载分类

编号	荷载分类	荷载名称
1	永久荷载	围岩压力
2		土压力
3	永久荷载	结构自重
4		结构附加恒载
5		混凝土收缩和徐变的影响力
6		水压力

表 5 荷载分类（续）

编号	荷载分类		荷载名称
7	可变荷载	基本可变荷载	公路车辆荷载， 人群荷载
8			立交公路车辆荷载及其所产生的冲击力、土压力
9			立交铁路列车活载及其所产生的冲击力、土压力
10			立交渡槽流水压力
11		其他可变荷载	温度变化的影响力
12			冻胀力
13			施工荷载
14	偶然荷载		落石冲击力
15			地震力

- 7.2.2 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确定围岩压力，可按释放荷载或松散荷载计算。在施工和实地量测中发现与实际不符时，应及时修正。
- 7.2.3 对结构上可能同时出现的荷载，应进行荷载组合，并按最不利荷载进行结构计算与结构设计。
- 7.2.4 对受温度影响显著或截面厚度大的超静定结构，宜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，应根据当地温度情况与施工条件所确定的温度变化值等按下式计算：

$$\Delta l = l \Delta t \alpha \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

Δl ——温度变化引起的变形值（m）；

l ——构件的计算长度（m）；

Δt ——温度变化值（℃）；

α ——材料的线膨胀系数，钢筋混凝土和混凝土的线膨胀系数采用 1.0×10^{-5} （1/℃）。

混凝土收缩的影响可假定用降温的方法计算，对于整体灌注的混凝土结构相当于降温度20℃；对于整体灌注的钢筋混凝土结构相当于降低温度15℃；对于分段灌注的混凝土或钢筋混凝土相当于降低温度10℃。

7.3 衬砌计算

- 7.3.1 隧道结构计算应根据结构受力特点、围岩条件、回填情况等，综合考虑选取荷载-结构法或地层-结构法。
- 7.3.2 浅埋隧道中的二次衬砌及明洞等应采用荷载结构法计算。深埋隧道中复合式衬砌的二次衬砌也可采用荷载结构法计算。从耐久性考虑，采用“永久荷载+基本可变荷载”组合时，钢筋混凝土结构强度抗压安全系数取2.0，抗拉安全系数取2.5。
- 7.3.3 采用荷载-结构法计算时，宜考虑围岩对隧道衬砌的约束作用，此作用可视为围岩对衬砌的弹性抗力，弹性抗力的分布与大小，可根据衬砌结构形式、回填情况和围岩的变形性质采用局部变形理论确定。
- 7.3.4 隧道复合式衬砌的初期支护宜结合工程类比和结构计算综合确定，其中Ⅳ级围岩较差段、Ⅴ级围岩初期支护参数应通过地层-结构法进行计算验证。
- 7.3.5 隧道初期支护计算宜考虑施工工法影响，通过分析完整施工过程中永久支护和临时支护结构的

内力、变形与围岩塑性区分布等对支护参数进行验证。

7.3.6 采用地层-结构法计算大跨度隧道初期支护,宜分开考虑喷射混凝土与钢拱架的支护作用及喷射混凝土硬化过程对结构内力分布的调整作用。

7.3.7 验算复合式衬砌初期支护的承载能力时,其允许洞周相对收敛值应根据围岩地质条件分析确定,资料缺乏时可按表 6 选用。

表6 允许洞周水平相对收敛值

单位为米

围岩级别	埋深		
	<50	50~300	>300
III	0.15%~0.4%	0.2%~0.5%	0.4%~0.6%
IV	0.2%~0.6%	0.5%~1%	0.8%~1%
V	0.25%~0.9%	0.7%~1.2%	1.2%~1.6%
注1: 水平相对收敛值系指收敛位移累计值与两测点间距离之比。 注2: 硬质围岩隧道取表中较小值, 软质围岩隧道取表中较大值。 注3: 拱顶下沉允许值一般可按本表数值的0.5~1.0倍采用。 注4: 本表所列数值在施工过程中可通过实测和资料积累作适当修正。			

7.3.8 进行衬砌结构计算时, 结构变形后仍应满足隧道净空要求。

7.3.9 钢筋混凝土衬砌结构构件, 考虑长期荷载作用的影响进行计算时, 最大计算表面裂缝宽度应不大于 0.2 mm, 特殊环境条件下应符合 GB/T 50476 要求。

7.4 洞门计算

7.4.1 隧道采用端墙式洞门时, 洞门墙可视为重力式挡土墙, 应进行结构强度和耐久性验算、抗倾覆验算以及沿基底滑动的稳定性验算, 为避免拉应力过大, 对于非配筋洞门墙结构, 设计时应控制截面拉应力。

7.4.2 钢筋混凝土结构端墙式洞门, 其配筋应满足承载力和构造要求。

8 防水与排水

8.1 防水

8.1.1 隧道防排水应遵循“防、排、截、堵相结合, 因地制宜, 综合治理, 生态环保”的原则, 保证隧道结构物和营运设备的正常使用和行车安全。隧道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的防排水系统。

8.1.2 隧道初期支护与二次衬砌间设置防水板及无纺布, 防水板厚度不宜小于 1.5 mm。

8.2 排水

8.2.1 四车道隧道跨度较大, 宜采用双侧排水深边沟引排。

- 8.2.2 双侧排水深边沟宜分别设置在两侧车道中心处。
- 8.2.3 双侧深边沟尺寸应根据隧道长度、纵坡、地下水渗流量，通过水力计算确定。
- 8.2.4 双侧深边沟通过横向排水管与纵向排水盲管连接。横向排水管的直径不宜小于 160 mm，横向坡度不应小于 2 %，其纵向间距应根据地下水量确定，不宜大于 10 m。
- 8.2.5 双侧排水深边沟应设置沉砂池，并根据需要设置检查井，沉砂池、检查井纵向布置间距不宜大于 150 m。

9 小净距及连拱隧道

9.1 小净距隧道

- 9.1.1 隧道洞口地形狭窄或有特殊要求时，洞口局部地段可采用小净距隧道。
- 9.1.2 小净距隧道设计符合下列要求：
- a) 根据围岩及净距情况，提出合理开挖方式；
 - b) 施工时的爆破振动速度应控制在不影响施工安全的范围内，符合 GB 6722 要求；
 - c) 初期支护的喷射混凝土达到设计强度的 80 %后，应及时进行背后注浆；
 - d) 隧道前、后行洞应错开一定安全距离，不宜小于 1.5 倍开挖跨度。
- 9.1.3 应根据不同围岩级别制订小净距隧道监控量测计划，把中间岩柱的稳定性、浅埋段地表沉降和爆破振动对相邻洞室的影响作为监控量测的重要内容。
- 9.1.4 一般地质条件下，小净距隧道衬砌支护参数及中夹岩柱稳定性控制措施可参考表 7、表 8。

表7 单洞四车道小净距隧道复合式衬砌设计参数

围岩级别	初期支护							二次衬砌厚度 cm		中岩柱 加固措施
	喷射混凝土厚度 cm		锚杆 m			钢筋网	钢架	拱部、边 墙	仰拱	
	拱部、 边墙	仰拱	位置	长度	间距					
I	10~12	—	局部	—	—	局部	—	40	—	—
II	12~18	—	局部	3.5~4.0	—	局部	—	45	—	—
III	18~24	—	拱、墙	3.5~4.0	1.0 ~ 1.5	拱、墙 @20×20	拱、墙 I18	50	50	Φ50 注浆小导 管/4 m~6 m
IV	26~30	26~30	拱、墙	4.0~4.5	0.6 ~ 1.0	拱、墙 @20×20	拱、墙、 仰拱 I20b	55~60 钢筋砼	55~60 钢筋砼	Φ25 中空注浆 锚杆/4 m~6 m
V	28~32	28~32	拱、墙	4.5~6.0	0.5 ~ 0.8	拱、墙 (双层) @20×20	拱、墙、 仰拱 H20×20	65~70 钢筋砼	65~70 钢筋砼	Φ25 中空注浆 锚杆/4 m~6 m

表8 单洞四车道小净距隧道中夹岩柱稳定性控制措施

围岩级别	中夹岩柱净距		
	4 m~6 m	6 m~9 m	9 m~12 m
III	非爆破施工，前后洞间距不小于30 m，二衬紧跟	建议爆破震动速度控制值不大于1.5 cm/s，前后洞间距不小于30 m	建议爆破震动速度控制值不大于5 cm/s，前后洞间距不小于20 m
IV	非爆破施工，超前注浆小导管、对拉式锚杆加固，前后洞间距不小于30 m，二衬紧跟	非爆破施工，超前注浆小导管注浆加固，前后洞间距不小于30 m	建议爆破震动速度控制值不大于5 cm/s，超前注浆小导管注浆加固，前后洞间距不小于30 m
V	—	机械或人工开挖，超前注浆小导管、对拉式锚杆加固，前后洞间距不小于40 m，二衬紧跟	机械或人工开挖，超前注浆小导管加固，前后洞间距不小于40 m

9.2 连拱隧道

9.2.1 双向八车道公路隧道不宜修筑连拱隧道。

9.2.2 受地形及展线条件所限，必须采用连拱隧道方案时，应结合洞外接线、地形、地质和施工条件进行设计，并符合下列规定：

- a) 四车道连拱隧道设计为整体式中墙时，中墙厚度不宜小于2.0 m；设计为复合式中墙时，中墙厚度不宜小于1.8 m；
- b) 四车道连拱隧道双洞变形缝应设置在同一断面上；
- c) 采用整体式中隔墙的连拱隧道，施工缝处除设置背贴式止水带、中埋式止水带、膨胀止水条外，应采取暗敷接水盒等主动防渗漏措施；
- d) 中隔墙的布设位置应同时考虑偏压影响及施工需要。

9.2.3 一般地质条件下，连拱隧道的复合式衬砌支护参数可参考表9。

表9 单洞四车道连拱隧道复合式衬砌设计参数

围岩级别	初期支护							二次衬砌厚度 cm	
	喷射混凝土厚度 cm		锚杆 m			钢筋网	钢架	拱、墙 混凝土	仰拱 混凝土
	拱部边墙	仰拱	位置	长度	间距				
I	10~12	—	局部	3.0	—	局部	—	45	—
II	12~18	—	局部	3.0~4.0	—	局部	—	50	—
III	18~24	—	拱、墙	3.5~4.0	1.0~1.5	拱、墙 @20×20	拱、墙 I18	55	55
IV	26~30	26~30	拱、墙	4.0~4.5	0.6~1.0	拱、墙 @20×20	拱、墙、仰拱 I20b	60~65 钢筋砼	60~65 钢筋砼
V	28~32	28~32	拱、墙	4.5~6.0	0.5~0.8	拱、墙（双层） @20×20	拱、墙、仰拱 H20×20	70~75 钢筋砼	70~75 钢筋砼

10 支护结构的耐久性设计

10.1 一般规定

10.1.1 隧道耐久性设计应符合 JTG/T 3310 和其它相关结构耐久性设计规范的规定。

10.1.2 隧道的耐久性设计应充分考虑周边环境、隧道跨度、结构受力等的影响，使结构在设计基准期内处于正常使用状态。

10.1.3 隧道耐久性设计宜将对应的环境等级较正常值提高一级。

10.2 支护措施及构造规定

10.2.1 应根据混凝土结构的使用环境类别与作用等级，提出混凝土材料品质要求、配合比的主要参数等耐久性具体指标。

10.2.2 二次衬砌钢筋（包括主筋、箍筋和分布筋）的混凝土保护层最小厚度不宜小于 40 mm。

10.2.3 二次衬砌受力主筋应采用 HRB400 级钢筋，配筋率根据计算确定。

10.2.4 受到化学腐蚀作用时，隧道二次衬砌施工缝处应保证主筋、箍筋保护层厚度，纵向连接筋应断开，混凝土宜采取局部防腐处理。

11 隧道抗震设计

11.1 一般规定

11.1.1 双向八车道隧道抗震设计应符合 JTG 2232 相关要求，宜按照 B 类及以上抗震设防。

11.1.2 地震动峰值加速度大于或等于 0.3 g 地区，不宜采用单洞四车道隧道方案。

11.1.3 受其他因素影响必须采用单洞四车道隧道方案时，应开展工程场地地震安全性评价。

11.2 衬砌抗震设计

11.2.1 隧道洞口段、浅埋偏压段、深埋段内的软弱围岩段、断层破碎带等，为抗震设防地段，其最小设防长度及措施可参照 JTG 2232 的规定选用。

11.2.2 有抗震设防要求的隧道，洞门应优选削竹式、明洞式等抗震性能良好的洞门形式；采用端墙、翼墙等其它形式洞门时，应进行抗震验算并采取必要的构造措施。

12 隧道辅助施工措施设计

12.1 一般规定

12.1.1 考虑辅助施工永久作用时，应进行专门分析、设计。

12.1.2 辅助施工措施应与隧道主体支护结构的设计、施工方法的选择等密切配合。

12.2 超前支护措施设计

12.2.1 超前大管棚、注浆小导管、早强砂浆锚杆等为双向八车道公路隧道常用超前支护措施，应根据不同围岩级别选择使用。

12.2.2 自稳能力较差的 V 级围岩段，宜采用长短结合的双排注浆小导管，长导管采用 $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 的小角度打设，短导管采用 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 的大角度打设。

- 12.2.3 超前锚杆的杆体直径不宜小于 25 mm，黏结材料应采用早强砂浆，其强度等级不应低于 M20。
- 12.2.4 在不易成孔且钢管难以直接顶入的松散碎石土地段，可采用超前自进式注浆锚杆，其杆体直径不宜小于 28 mm。
- 12.2.5 掌子面无自稳能力的软弱围岩段，宜采用玻纤锚杆进行注浆预加固。
- 12.2.6 超前大管棚及超前小导管注浆宜采用水灰比 1：0.5~1：1 的水泥浆，有堵水需求时，可掺入一定量的水玻璃，超前注浆量根据围岩空隙率及扩散半径等确定。

13 施工方法

13.1 一般规定

- 13.1.1 隧道施工过程中，应根据围岩实际情况和监控量测结果并结合施工技术条件等进行施工方法的动态调整。
- 13.1.2 应制定隧道施工过程中的超前地质预报方案，并以此作为施工组织管理、信息化作业、工法动态调整的依据。
- 13.1.3 隧道施工方法设计应充分利用隧道的横向宽度，并制定工法转换的安全措施。
- 13.1.4 单洞四车道公路隧道不宜采取全断面法施工。

13.2 开挖方法

- 13.2.1 单洞四车道公路隧道常用的开挖方法有台阶法、中壁台阶法、钢架岩墙组合支撑法、CD 法、CRD 法、双侧壁导坑法等。
- 13.2.2 稳定性相对较好的 I、II、III 级围岩一般采用上下两台阶法开挖，施工步序见图 1，相对较差的段落宜采用中壁台阶法，施工步序见图 2。

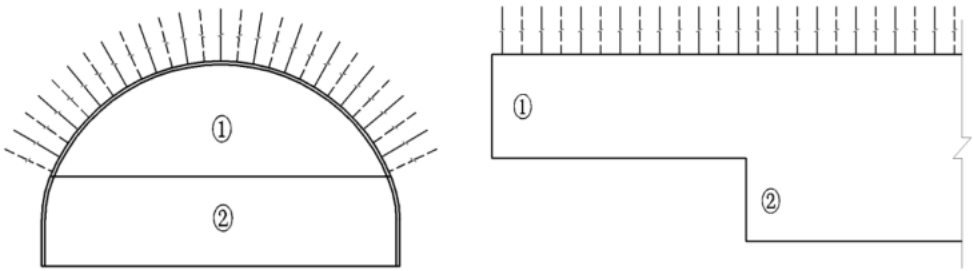


图1 上下台阶法示意图

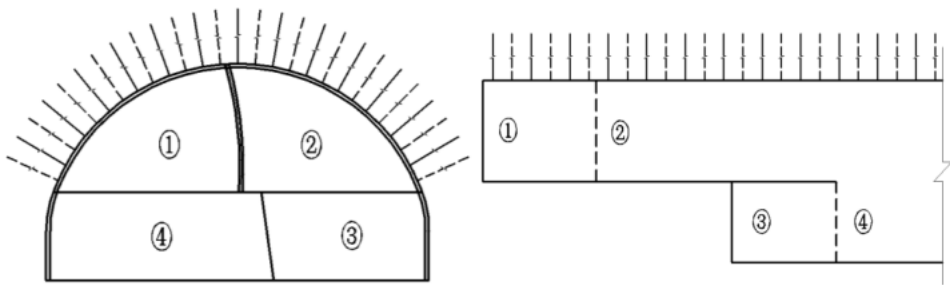


图2 中壁台阶法示意图

13.2.3 稳定性较好的Ⅳ级围岩段宜采用钢架岩墙组合支撑法开挖，施工工序见图 3；稳定性相对较差的段落宜采用 CD 法开挖，施工工序见图 4；周边收敛速率较大或基础承载力不足时，宜增设临时仰拱施工工序见图 5。

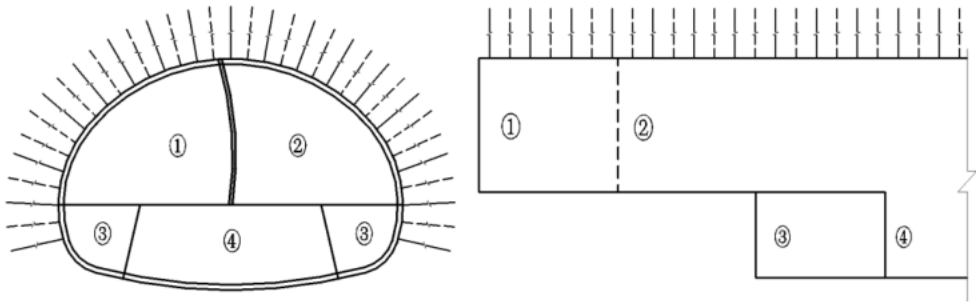


图3 钢架岩墙组合支撑法示意图

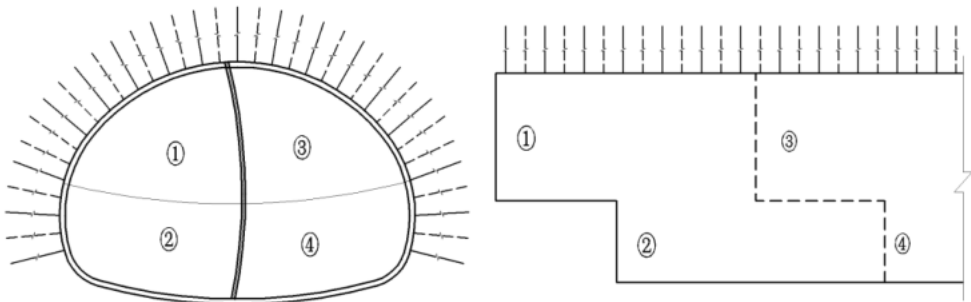


图4 CD 法示意图

13.2.4 V 级围岩深埋段（稳定性相对较好的段落）可采用 CRD 法开挖，施工工序见图 5；V 级围岩浅埋段、洞口段可采用设横向中支撑的两侧预留核心土台阶法，施工工序见图 6，或者采用双侧壁导坑法开挖，施工工序见图 7。

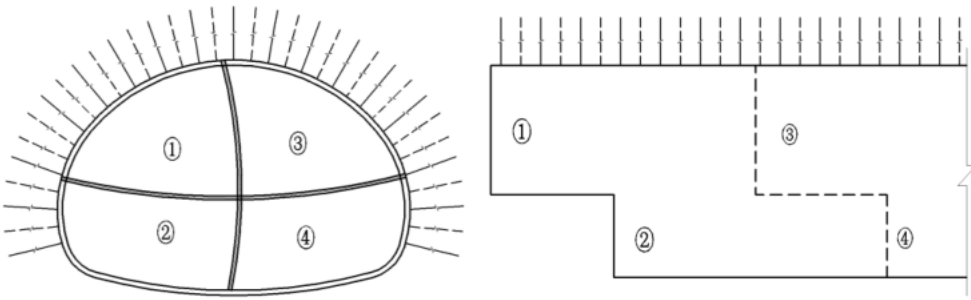


图5 CRD 法开挖

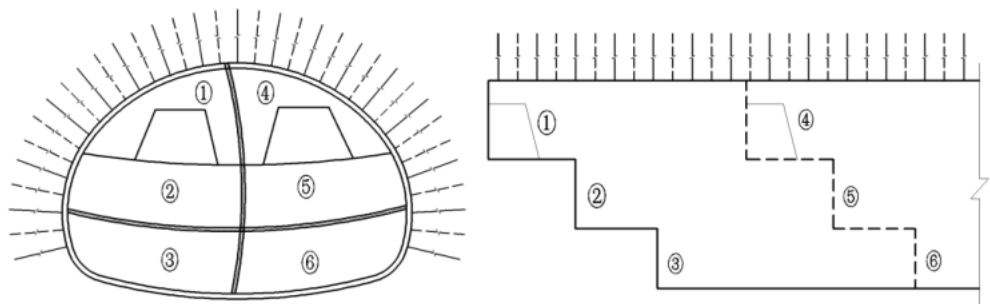


图6 双侧预留核心土台阶法

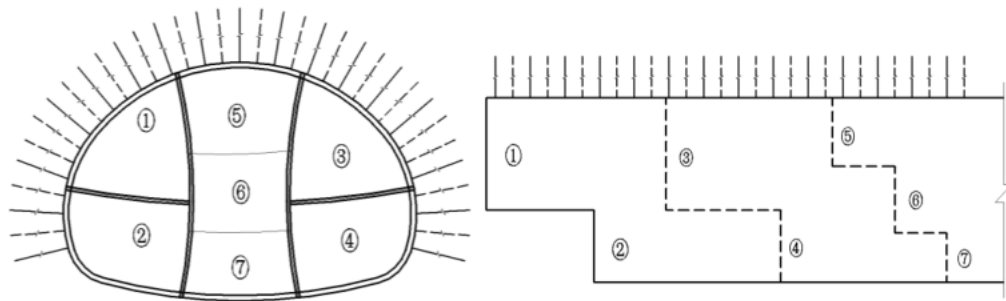


图7 双侧壁导坑法

13.2.5 进行隧道分部或分块开挖时，宜考虑机械配套作业，分部分块不宜过小。

14 隧道路基路面设计

14.1 隧道路面宜采用沥青混凝土上面层与水泥混凝土下面层组成的复合式路面，沥青面层宜采用温拌阻燃沥青混凝土。

14.2 复合式路面中的混凝土层横向分界宜设置在二三车道分界处，面板下应设置厚度不小于 15 cm 的混凝土垫层。

15 隧道施工

15.1 施工准备

- 15.1.1 隧道施工前，应编制施工组织设计和安全风险评估报告，评审通过后方可开工。
- 15.1.2 隧道进洞前，应进行隧道暗挖起点处的地面高程复测和地质校核工作。
- 15.1.3 隧道施工宜选用机械化施工技术装备，包括三臂凿岩台车、大型喷射混凝土机械手、拱架安装机、钻注一体化装备、全自动控制全液压仰拱栈桥等。

15.2 洞口、明洞工程

- 15.2.1 洞口边坡及仰坡应分层分区、自上而下开挖，不应掏底或上下重叠开挖，宜采取静态或微振动控制爆破。
- 15.2.2 明挖段施工方案制定宜考虑暗挖段施工工法的转换和衔接。

15.3 开挖

15.3.1 隧道开挖前,应根据掌子面地质情况,结合超前地质预报结果,及时对开挖方法、进尺等作出调整。

15.3.2 隧道爆破方案设计应贯彻“少超不欠”理念,进行精细化爆破设计,施工前试爆检验效果,根据围岩实际情况动态调整。

15.3.3 开挖过程中,工法转换工作宜在围岩相对较好的段落完成。

15.3.4 隧道掘进应采用光面爆破技术,尽量减少对周边围岩的扰动,加宽段、交叉口、预留洞室等特殊地段宜采用预裂爆破,Ⅱ、Ⅲ级围岩炮眼残留率应不少于95%,Ⅳ级围岩宜不少于80%。

15.3.5 应结合中岩墙厚度、围岩条件及隧道埋深等条件,制定小净距隧道专项施工方案,施工过程应加强对中岩墙的监控量测。

15.3.6 钢架岩墙组合支撑法施工符合下列规定:

- a) 适用于隧道下半断面围岩等级达到Ⅳ级较好情况;
- b) 下台阶应分3次开挖,3、4部前后错开至少5m间距交替开挖,不应两侧对称开挖导致同一榀拱架拱脚同时悬空;
- c) 下台阶3、4部每次开挖进尺不宜大于3榀钢架间距,并应及时落底,不应长时间暴露;
- d) 4部梯形台阶宽度以满足中隔壁或临时支撑施做为宜,梯形上底宽度应不小于3m,其封闭时机根据现场安全步距要求确定;
- e) 中隔壁及临时支撑的拆除时机应通过对已拆除段落变形观测数据的研判确定。拆除时应采用人工配合风镐施工,不应机械暴力拆除;
- f) 根据基底围岩质量情况,下半断面施工可借鉴“中壁台阶法”。

15.4 出渣与运输

15.4.1 隧道出渣宜采用无轨运输方式,并加大自卸车配置数量。

15.4.2 出渣运输车辆宜选用顶部带有全覆盖设施的新型环保运输车。

15.5 支护与衬砌

15.5.1 隧道岩面渗水严重段可采用潮喷工艺进行初喷,以快速封闭岩面,并采用湿喷工艺进行复喷。

15.5.2 宜采用专用设备进行锚杆钻孔,并应控制系统锚杆、锁脚锚杆孔位和打设角度。

15.5.3 V级围岩段的拱架安装宜采用机械设备辅助进行。

15.5.4 二次衬砌台车宜采用自行式整体液压钢模衬砌台车,长度不宜超过12m。

15.5.5 二次衬砌堵头模板宜采用“钢+木组合模板”。

15.5.6 宜选用自动喷淋式养护台车进行二次衬砌养护。

15.5.7 宜配置自行式栈桥进行仰拱施工,采用弧形模板进行仰拱施工。

15.6 防水与排水

15.6.1 应结合永久排水系统施做边、仰坡坡顶的截水沟,其出水口宜与路基边沟顺接。

15.6.2 隧道初期支护完成后仍有大面积渗流或股水出露时,宜进行注浆堵水。

15.6.3 中心排水管道沟回填用碎石应具有一定的级配,路面结构层施工前应进行压实。

15.7 不良地质和特殊岩土地段施工

15.7.1 施工前应根据工程地质、水文地质资料,结合现场实际情况,制定隧道不良地质和特殊岩土地

段专项施工技术方案。

15.7.2 隧道施工遇到溶洞时，其处治措施符合下列规定：

- a) 岩溶地区隧道施工前，应通过物探结合钻探的方法现场核查溶洞的分布范围、类型、规模、充填物、稳定情况、地下水流情况、与隧道位置关系等；
- b) 当溶洞规模大于隧道断面且无充填物时，宜采用上部加固、引流填渣、设桥（涵、管、渠）、横梁、洞中洞及洞中洞外部缓冲设施等措施；
- c) 当溶洞洞穴规模不大时，宜采用回填混凝土和挖除充填物后再回填混凝土的处治措施；
- d) 当溶洞内存水时，应根据地下水流量选择疏导、堵填、注浆加固、跨越、绕避、宣泄等处治措施；
- e) 采用回填方法处治溶洞时，回填物不应阻断过水通道。

15.7.3 富水软弱破碎围岩隧道开挖符合下列规定：

- a) 在松散、软弱破碎的岩体中，应采取先护后挖、边挖边护或对岩体预加固后再开挖等方法；
- b) 掌子面无自稳能力时，宜采用玻纤锚杆等进行预加固。

15.7.4 塌方段施工应遵守以下原则：

- a) 治塌先治水；
- b) 处理方案未确定时，不应出渣；
- c) 加固处理措施与永久支护结合。

15.8 其它附属设施工程

15.8.1 设备洞、横通道及其他各类预留洞室作为永久性工程，应与正洞一次完成，预留洞室内应不渗水不漏水。

15.8.2 电缆槽的施工符合下列规定：

- a) 电缆槽开挖应与边墙基础开挖同时进行，不应在边墙浇筑后爆破开挖电缆槽；
- b) 电缆槽壁与边墙应连接牢固，必要时可加设短钢筋连接；
- c) 电缆槽宜采用移动液压台车浇筑；
- d) 电缆槽盖板宜采用聚合物复合材料防火盖板。

15.8.3 各装饰工程符合下列规定：

- a) 贴面装饰应做到黏结牢固、整齐、面平、美观，背后无空洞；
- b) 板材材料宜采用强度高、韧性好、具有良好的防水性、防火性、耐久性、绿色环保的材料；
- c) 板材装饰安装应做到牢固、整齐、面平、美观、易清洗；
- d) 各类洞室的防护门应开启方便、严密、防火、隔热；
- e) 洞室应粘贴标明洞室名称的标牌。

15.9 监控量测与超前地质预报

15.9.1 监控量测与超前地质预报应纳入施工工序管理，为信息化设计和施工提供依据。

15.9.2 施工过程中，应将开挖揭露的地质情况与超前预报结果相结合，实现围岩精细化分级。

15.9.3 超前地质预报应由具有工程勘察资质以及隧道勘察和超前预报经验的单位实施。

附 录 A
(资料性)
单洞四车道隧道内轮廓示例

A.1 概述

编者对广州绕城高速-龙头山隧道、滨莱高速改扩建隧道群、济南东南二环快速路延长线等部分国内已建成的典型单洞四车道隧道内轮廓进行了统计分析。

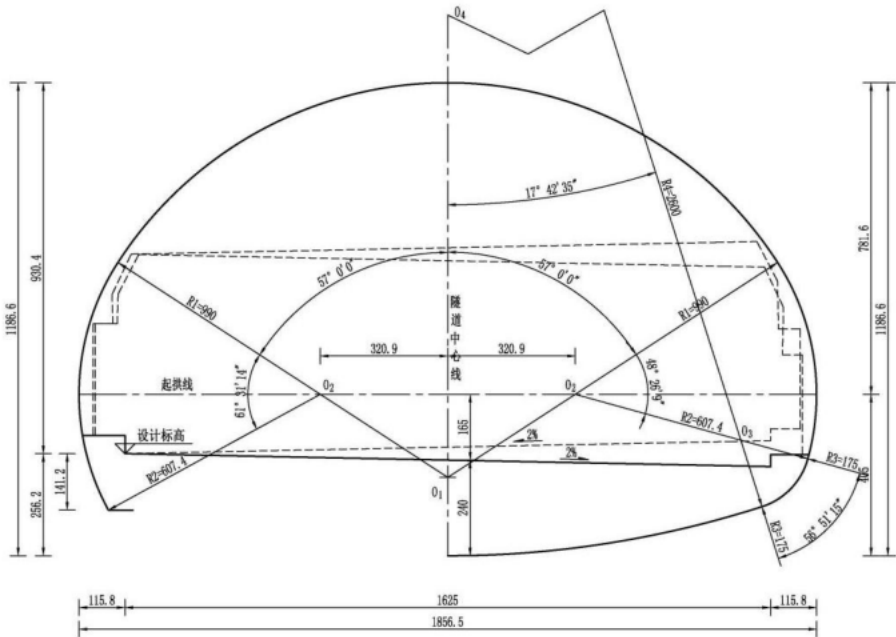
表A.1 典型单洞四车道隧道内轮廓统计

隧道名称	隧道长度 m	内轮廓面积 m ²	净宽 m	净高 m	扁平率	建设年份
广州绕城高速-龙头山隧道	1 010	168.2	18.59	11.3	0.608	2006
广州绕城高速-牛头山隧道	373	189.0	18.88	11.9	0.630	2013
深圳外环高速-红花岭隧道	992	180.5	19.19	11.77	0.613	2015
深圳南坪快速路-新屋隧道	678/230	171.5	18.98	11.29	0.595	2012
中山市东南快速路-焦树山隧道	337	176.3	18.87	11.71	0.621	2013
滨莱高速改扩建隧道群	4 500(总长)	184.1	19.12	12.11	0.633	2017
济南东南二环快速路隧道群	9 442(总长)	158.7	17.61	11.16	0.634	2017

通过以上资料显示，单洞四车道隧道建筑限界宽度因设计时速不同，在[16.75 m, 18.50 m]范围内，内轮廓扁平率（包含仰拱）普遍在[0.595, 0.634]范围内，内轮廓面积[158.7 m², 184.1 m²]范围内。

A.2 设计速度 v=80 km/h 四车道隧道示例断面

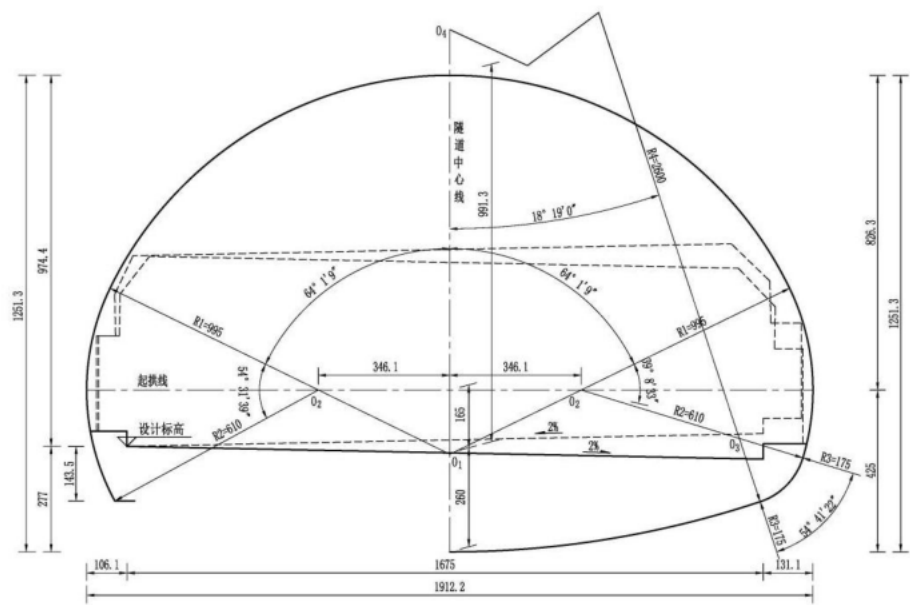
设计速度80 km/h的隧道内轮廓可参考图A.1示例。



图A.1 设计速度 v=80 km/h 情况下四车道隧道示例断面

A.3 设计速度 $v=100\text{ km/h}$ 四车道隧道示例断面

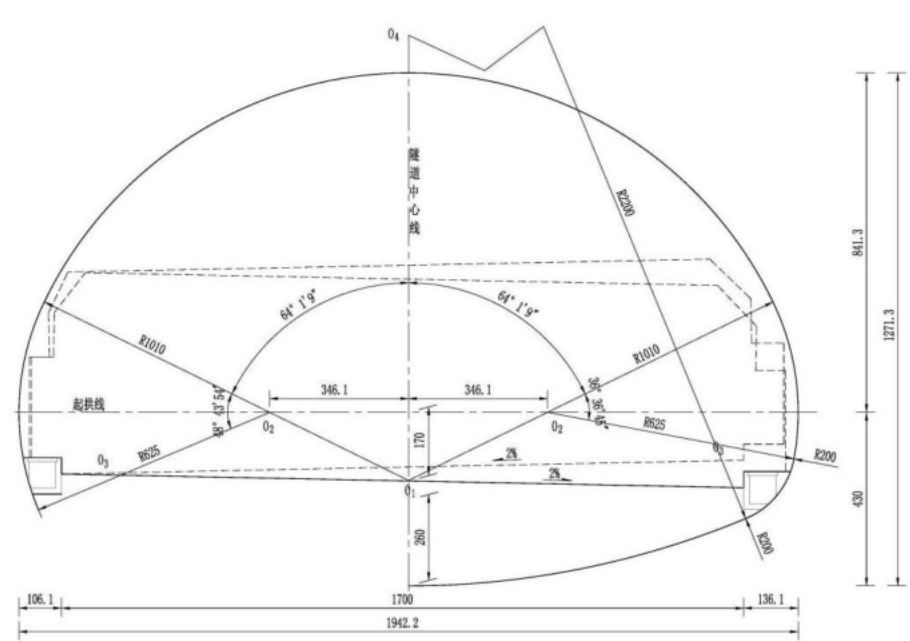
设计速度100 km/h的隧道内轮廓可参考图A.2示例。



图A.2 设计速度 $v=100\text{ km/h}$ 情况下四车道隧道示例断面

A.4 设计速度 $v=120\text{ km/h}$ 四车道隧道示例断面

设计速度120 km/h的隧道内轮廓可参考图A.3示例。



图A.3 设计速度 $v=120\text{ km/h}$ 情况下四车道隧道示例断面