

ICS 03.120.10

R 85

DB14

山 西 省 地 方 标 准

DB 14/T 1551—2017

2024年2月28日确认有效

水平岩层公路隧道设计指南

2017 - 12 - 30 发布

2018 - 3 - 1 实施

山西省质量技术监督局 发布

目 次

前言 2

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 一般规定 4

5 衬砌结构设计 5

6 施工注意事项 8

参考文献 10

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准由山西省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：山西省交通规划勘察设计院。

本标准主要起草人：帖智武、黄仰收、刘喜春、姜杰、金俊喜、程雷、刘建海、王鹏、李晓旭、刘小强、袁伟、高晓春、赵建邦。

水平岩层公路隧道设计指南

1 范围

本标准规定了穿越水平岩层的公路隧道衬砌结构设计及施工控制要点。
本标准适用于山西省以钻爆法修建的水平岩层公路隧道。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 1499 钢筋混凝土用热轧带肋钢筋
- GB 6722 爆破安全规程
- GB 13013 钢筋混凝土用热轧光圆钢筋
- GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范
- JTG B01 公路工程技术标准
- JTG D70 公路隧道设计规范
- JTG F60 公路隧道施工技术规范
- JTG/T D70 公路隧道设计细则
- JTG/T F60 公路隧道施工技术细则

3 术语和定义

JTG D70、JTG F60、JTG/T D70和JTG/T F60确立的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

公路隧道

供汽车或行人通行的隧道，分为汽车专用隧道和人车共用隧道。

3.2

水平岩层

产状呈水平或近水平的岩层。

3.3

水平岩层隧道

穿越地层为水平岩层的隧道。

3.4

喷锚衬砌

隧道开挖后用喷射混凝土、锚杆、钢筋网或钢架等组合支护，不设二次衬砌的隧道支护形式。

3.5

整体式衬砌

隧道开挖后直接用模筑混凝土或砌体修建衬砌的隧道支护形式。

3.6

复合式衬砌

由喷锚初期支护和模筑混凝土二次衬砌构成的隧道支护形式。

3.7

动态设计

在隧道施工过程中，根据地质条件变化情况及时调整开挖方法或支护参数的一种处置方法。

3.8

光面爆破

沿开挖面布置密集炮孔，采用不耦合装药或装填低威力炸药，周边眼较开挖区炮眼延时并同时起爆，以形成平整的轮廓面的爆破技术。

3.9

超前地质预报

在分析既有地质资料的基础上,采用物探、钻探等手段,对开挖面前方的地质条件进行探测、分析与评价的活动。

3.10

监控量测

为保障隧道施工安全与优化支护参数,在隧道内或地表,对地层及支护结构的变形与应力进行量测、分析与评价的活动。

4 一般规定

4.1 公路水平岩层隧道应作衬砌,根据隧道围岩地质条件、施工条件和使用要求可分别采用喷锚衬砌、整体式衬砌、复合式衬砌。高速公路、一级公路、二级公路水平岩层隧道应采用复合式衬砌;三级及三级以下公路水平岩层隧道,在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级围岩条件下,隧道洞口段应采用复合式衬砌或整体式衬砌,其他段可采用喷锚衬砌。

4.2 隧道衬砌设计应综合考虑水平岩层隧道的地质条件、断面形状、支护结构、施工条件等,并应充分利用围岩的自承能力。衬砌应有足够的强度和稳定性,保证隧道长期安全使用。

4.3 水平岩层隧道应根据地质资料调整隧道纵坡,使隧道从岩层厚、层间结合好、整体性好的岩层通过。

4.4 衬砌结构类型和尺寸,应根据使用要求、围岩级别、工程地质和水文地质条件、隧道埋置深度、水平岩层结构受力特点,并结合工程施工条件、环境条件,通过工程类比和结构计算综合分析确定。在施工阶段,还应根据现场监控量测进行动态设计,必要时可通过试验分析确定。

4.5 水平岩层隧道围岩较差地段衬砌应设仰拱。仰拱的曲率半径应根据隧道断面形状、地质条件、地下水、隧道开挖跨度、排水及管沟布置要求等综合确定。路面与仰拱之间可采用混凝土或片石混凝土填充。当隧道边墙底以下为整体性较好的坚硬岩石时,可不设仰拱。

4.6 洞身开挖应根据隧道长度、断面大小、结构形式、工期要求、机械设备、地质条件等，选择适宜的开挖方案(包括开挖顺序、爆破、施工照明、通风、排水、支护、出渣等)。为了最大限度地利用围岩自承能力，必须采用有利于减少超挖、减少围岩扰动的开挖方法进行洞身开挖。

4.7 水平岩层隧道爆破应采用光面爆破，必要时采用预裂爆破技术；施工中应优化钻爆设计，尽量降低对围岩的扰动，提高钻眼效率和爆破效果，降低工料消耗。

5 衬砌结构设计

5.1 喷锚衬砌

5.1.1 针对水平岩层的特性，水平岩层的隧道设计与施工应充分发挥锚杆的悬吊、组合梁、挤压紧固等作用，使顶部形成组合梁。

5.1.2 下列情况下可采用喷锚衬砌：

- a) 低等级公路隧道内的 I ~ III 级围岩段。
- b) I ~ III 级围岩段的紧急救援通道等。
- c) 施工用导洞和斜井。

5.1.3 下列情况下不应采用喷锚衬砌：

- a) 地下水发育或大面积淋水地段。
- b) 膨胀性围岩或能造成衬砌腐蚀的地段。
- c) 最冷月平均气温低于-5℃地区的冻害地段。
- d) 有其它特殊要求的隧道。
- e) 围岩自稳能力较差的 IV、V、VI 级围岩。

5.1.4 水平岩层隧道喷锚衬砌设计时，对于较破碎段，上半断面可采用带骨架的整体式钢筋网片，以达到快速支撑、快速封闭的目的。

5.1.5 水平岩层隧道锚杆支护设计时应根据围岩条件、岩层厚度、岩层产状、隧道断面尺寸、作用部位、施工条件等合理选择锚杆设计参数。

5.1.6 水平岩层隧道永久支护的锚杆应为全长粘结型锚杆或预应力注浆锚杆。其它类型的锚杆不宜作为永久支护；当需作为永久支护时，锚孔内必须注满水泥砂浆或树脂。

5.1.7 局部不稳定的岩块宜设置局部锚杆，可采用全长粘结型锚杆、端头锚固型锚杆、预应力锚杆，锚固端应置于稳定岩体内，锚杆参数应通过计算确定。

5.1.8 岩体破碎、成孔困难的围岩，宜采用自钻式锚杆。

5.1.9 水平岩层隧道在Ⅲ级围岩条件下，侧墙应少布设（或不布设）锚杆，拱腰及拱顶布设少量系统锚杆；在Ⅳ、Ⅴ级围岩条件下，侧墙宜少布设锚杆，拱腰及拱顶布设系统锚杆。充分发挥锚杆的悬吊、挤压紧固等作用，使顶部形成组合梁，并符合下列规定：

- 锚杆应以较大交角贯穿岩体主结构面或岩层面。
- 锚杆应按矩形或梅花形排列。
- 锚杆间距不宜大于锚杆长度的 $1/2$ ，且不应大于 1.5m 。Ⅲ级围岩中的锚杆间距宜为 $1.0\text{m}\sim 1.3\text{m}$ ；Ⅳ、Ⅴ级围岩中的锚杆间距宜为 $0.5\text{m}\sim 1.0\text{m}$ 。锚杆间距较小时，可采用长短锚杆交错布置。
- 锚杆长度应根据岩层厚度和产状确定，两车道隧道系统锚杆长度不宜小于 2.0m ，三车道隧道系统锚杆长度不宜小于 2.5m 。
- 局部锚杆的锚固体应位于稳定岩体内。粘结型锚杆锚固体长度内的胶结材料与杆体间粘结摩阻力设计值和胶结材料与孔壁岩石间粘结摩阻力设计值，均应大于锚杆杆体受拉承载力设计值。

5.1.10 在水平岩层隧道围岩地质条件较差地段或地面沉降有严格限制时，应在初期支护内增设钢架或半钢架（见图1）。

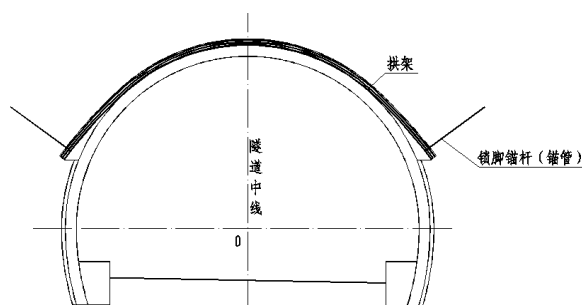


图1 半钢架示意图

5.1.11 水平岩层隧道地质条件较差时，宜设置超前支护；在设置超前支护的地段，可设置钢架作为超前锚杆、超前小导管、超前大管棚等的尾端支点。

5.1.12 喷锚衬砌支护参数可采用工程类比法或数值计算法确定，施工时应结合现场监控量测资料进行动态设计。水平岩层隧道喷锚衬砌支护设计参数可参照表1选取。

表1 水平岩层隧道喷锚衬砌设计参数

围岩级别	单车道隧道（行车横洞）	两车道隧道	三车道隧道（紧急停车带）
I 级	喷射混凝土厚 5cm。	喷射混凝土厚 5cm~8cm。	喷射混凝土厚 8cm~10cm，拱部局部设锚杆或钢筋网。
II 级	喷射混凝土厚 5cm，拱部局部设锚杆。	喷射混凝土厚 8cm~12cm，拱部局部设锚杆和钢筋网。锚杆 L=2.0m~2.5m。	喷射混凝土厚 12cm~15cm，拱部设锚杆和钢筋网，必要时设超前锚杆或（半）拱架。锚杆 L=3.0m~3.5m。
III 级	喷射混凝土厚 6~10cm，拱部设锚杆和钢筋网。锚杆 L=2.0~2.5m。	喷射混凝土厚 10cm~15cm，拱部设锚杆和钢筋网，必要时设超前锚杆或（半）拱架。锚杆 L=2.5m~3.0m。	喷射混凝土厚 15cm~20cm，拱部设锚杆和钢筋网，必要时设超前锚杆或拱架。锚杆 L=3.0m~4.0m。
注1：边墙喷射混凝土厚度可略低于表列数值。 注2：钢筋网的网格间距宜为15cm~30cm，钢筋网保护层厚度不应小于2cm。 注3：IV~VI级围岩宜采用复合式衬砌。			

5.2 整体式衬砌

5.2.1 水平岩层隧道整体式衬砌截面可设计为等截面或变截面，设仰拱地段，边墙与仰拱宜采用小半径曲线连接，仰拱厚度宜与边墙厚度相同。

5.2.2 明洞衬砌与洞内衬砌交界处或不设明洞的洞口段衬砌，在距洞口 5m~15m 的位置应设沉降缝；在洞内，软硬地层明显分界处宜设沉降缝；在连续 V、VI 级围岩中，每 30m~80m 应设沉降缝一道。

5.2.3 严寒与酷热温差变化大的地区，特别是在最冷月份平均气温低于 -15℃ 的寒冷地区，距洞口 100m~200m 范围的衬砌段应根据情况增设伸缩缝。

5.2.4 沉降缝、伸缩缝缝宽应大于 20mm，缝内可嵌填沥青木板或沥青麻丝。沉降缝、伸缩缝应垂直于隧道轴线设置。

5.2.5 沉降缝、伸缩缝可兼作施工缝。沉降缝、伸缩缝及施工缝应统筹设置。

5.2.6 不设仰拱的地段，衬砌边墙基底应置于稳固的地基之上，在洞门墙厚度范围内，边墙基础应加深到与洞门墙基础底相同的标高。

5.2.7 在有明显偏压的地段，应采用抗偏压衬砌，抗偏压衬砌宜采用钢筋混凝土结构。

5.2.8 隧道横洞与主洞的交叉段，宜采用钢筋混凝土结构。

5.2.9 地震动峰值加速度大于 0.2g 的地区，洞口段及软弱围岩段的衬砌宜采用钢筋混凝土结构。

5.2.10 当衬砌采用钢筋混凝土结构时，混凝土强度等级不应小于 C30，受力主筋的净保护层厚度不小于 40mm。

5.3 复合式衬砌

5.3.1 复合式衬砌是由初期支护、二次衬砌及中间所夹防水层组合而成的衬砌形式。复合式衬砌设计应符合下列规定：

- a) 复合式衬砌的初期支护宜采用喷锚支护，即由喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢架等支护形式单独或组合使用，并符合 5.1 的规定。锚杆支护应采用全长粘结型锚杆。
- b) 二次衬砌宜采用模筑混凝土或钢筋混凝土结构，衬砌截面宜采用连接圆顺的等厚衬砌断面，仰拱厚度宜与拱墙厚度相同。二次衬砌应符合 5.2 的规定。
- c) 在确定开挖断面时，除应满足隧道净空和结构尺寸外，还应考虑水平岩层隧道围岩及初期支护的变形，并预留适当的变形量。预留变形量的大小可根据围岩级别、水平岩层厚度、粘结情况、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，并根据现场监控量测结果进行调整。

5.3.2 复合式衬砌可采用工程类比法进行设计，并通过计算分析进行验算。一般地质条件下，水平层围岩隧道的初期支护及二次衬砌支护参数可参照表 2、表 3 选用，并应根据现场围岩监控量测信息对支护参数进行动态设计。

表2 两车道水平岩层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（cm）		锚杆（m）			钢筋网	钢架间距（cm）	拱、墙	仰拱
I	5	—	—	—	—	—	—	30	—
II	5~8	—	局部	2.0~2.5	—	局部	—	30	—
III	8~20	—	拱	2.5~3.5	1.0~1.5	25×25	局部段落	35	—
IV	18~22	—	拱、 墙（局部）	3.0~3.5	0.8~1.2	20×20	80~150	40	40
V	20~26	5~26	拱、 墙（局部）	3.0~4.0	0.6~1.0	20×20	60~100	45	
VI	通过试验、计算确定								
注1：地下水发育地段可取大值；地下水不发育时可取小值。									
注2：抗水压型衬砌及特殊用途衬砌通过试验计算确定。									

注3：Ⅲ级围岩段，仰拱部分较破碎或泥质岩较多时，可增设仰拱。

表3 三车道水平岩层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（cm）		锚杆（m）			钢筋网	钢架间距（cm）	拱、墙	仰拱
	拱、墙	仰拱	位置	长度	间距				
I	5~8	—	—	—	—	—	—	35	—
II	8~10	—	局部	2.5~3.0	—	局部	—	35	—
III	12~22	—	拱	3.0~4.0	1.0~1.5	25×25	局部段落	40~45	—
IV	20~25	5~25	拱、墙（局部）	3.5~4.0	0.8~1.2	20×20	80~120	45~50 钢筋混凝土	45~50
V	25~28	15~26	拱、墙（局部）	3.5~4.5	0.5~1.0	20×20	50~100	55~60 钢筋混凝土	
VI	通过试验、计算确定								
注1：地下水发育地段可取大值；地下水不发育时可取小值。									
注2：抗水压型衬砌及特殊用途衬砌通过试验计算确定。									
注3：III级围岩段，仰拱部分较破碎或泥质岩较多时，可增设仰拱。									

6 施工注意事项

- 6.1 水平岩层一般为不透水层和透水层互层，隧道施工时，应根据设计文件和调查资料，对工程地质和水文地质作详细的调查分析，制定合理的突涌水处理措施，做好应对突涌水时的紧急预案和准备工作。
- 6.2 施工时，应在可能进入滞水带前 20m~30m 布置超前钻孔，以作预探和排水；钻孔位置、方向、数目和钻孔深度根据工程地质、水文地质和现场情况综合确定。钻孔需穿入透水层，防止水囊、暗河、高压涌水等危害。
- 6.3 水平岩层隧道的边墙稳定性较好，隧道拱腰以上稳定性与岩层厚度、层间水及层间结合情况的关系较大，对于含水量大、层间结合差或薄层岩，稳定性较差，开挖时易超挖和塌方。隧道开挖时应采用弱爆破等对围岩扰动小的开挖方式，水平岩层隧道拱顶扰动后易发生掉块和塌方，开挖后应及时完成初期支护作业，及时发挥初期支护的作用。
- 6.4 水平岩层隧道爆破开挖时，应采用短进尺，减小周边眼间距，多钻孔，少装药，严格控制单响药量；同时根据爆破效果及时进行经验总结、调整爆破参数，保证爆破效果。

- 6.5 水平岩层隧道爆破时，可将掏槽眼外围的辅助眼整体往隧道内部偏移适当距离。调整后，辅助眼靠隧道内侧抵抗距减小，爆炸形成的爆轰波往隧道内侧移动，有效的挤压粉碎内侧岩石，达到崩落效果。同时，增加周边眼的外侧抵抗距，有效减小辅助眼爆炸对隧道洞壁的影响，改善光爆效果。
- 6.6 对于水平岩层隧道，清除松动岩块时宜轻柔，避免过分找顶和长时间放置，影响围岩自稳能力，应及时进行支护作业。
- 6.7 水平岩层隧道对于围岩情况稍好，拱部掉块较轻的段落，可适当增设局部砂浆锚杆和钢筋网片；对于拱部及两侧掉块较严重段落，可增设超前锚杆。
- 6.8 系统锚杆施工宜在初喷混凝土后及时进行，局部锚杆施工可在初喷混凝土前进行。
- 6.9 水平岩层一般为沉积岩，常见为泥岩与灰岩或砂岩互层，层间水对围岩稳定性影响较大，水平岩层隧道施工必须做好地下水和施工用水的管控，及时做好排水系统，完善防排水措施。
- 6.10 岩面有集中渗水出露应先引排、妥善处理。
- 6.11 严寒地区隧道施工排水时，应采取防冻措施。

参考文献

- [1] JTG D70 公路隧道设计规范[S]. 北京：人民交通出版社，2004.
 - [2] JTG/T D70 公路隧道设计细则[S]. 北京：人民交通出版社，2010.
 - [3] JTG F60 公路隧道施工技术规范[S]. 北京：人民交通出版社，2009.
 - [4] JTG/T F60 公路隧道施工技术细则[S]. 北京：人民交通出版社，2009.
-