

# 目 录

<b>第 1 章 工程概况及水文地质条件</b> .....	<b>1</b>
工程简介 .....	1
隧道工程地质条件及评价 .....	2
地形地貌 .....	2
地质构造 .....	2
解理裂隙 .....	4
.....	4
不良地质现象及特殊岩土 .....	5
岩土评价 .....	6
地震效应 .....	6
隧道设计标准及遵循的规范 .....	6
技术标准 .....	6
.....	7
<b>第 2 章 隧道总体设计</b> .....	<b>8</b>
隧道的线型设计 .....	8
隧道横断面设计 .....	8
隧道建筑限界 .....	8
<b>第 3 章 隧道洞门设计</b> .....	<b>12</b>
洞门的设计 .....	12
.....	13
. 洞口端墙设计 .....	13
<b>第 4 章 隧道衬砌结构内力分析与结构设计</b> .....	<b>20</b>
概述 .....	20
初期支护设计 .....	20

设计参数的确定 .....	20
.....	22
$c$ 、 $\varphi$ 值: .....	23
$p_i$ 、 $p_a$ 、 $Q'$ 及 $u_{r_0}^a$ .....	23
锚杆的设计与计算 .....	28
喷层的计算与设计 .....	28
验算喷层的厚度 $t$ .....	29
二次衬砌 .....	30
V 级围岩公路隧道设计报告书 .....	30
.....	30
.....	31
IV 级围岩公路隧道设计报告书 .....	41
设计参数 .....	41
计算结果 .....	42
.....	52
<b>第 5 章 明洞设计 .....</b>	<b>53</b>
明洞形式选择 .....	53
拱圈回填土石垂直压力 .....	53
拱圈回填土石侧压力 .....	54
边墙回填土石侧压力 .....	55
<b>第 6 章 施工组织设计 .....</b>	<b>57</b>
预定目标承诺 .....	57
6. 2 编制说明 .....	57
编制原则 .....	58
工程施工总体部署 .....	58
.....	59

确保工程质量和工期的措施.....	60
质量、安全保证体系.....	65
主要项目施工方案和施工方法.....	67
<b>第7章 隧道监控量测 .....</b>	<b>81</b>
: .....	81
隧道监控量测的内容及测试方法.....	81
.....	81
.....	82
量测数据综合分析.....	84

# 第 1 章 工程概况及水文地质条件

## 工程简介

永九快速线位于萝岗区的东北部，呈南北走向穿越永和、镇龙和九佛三镇。南接永和的开源大道，通过隧道穿油麻山，北至广从公路。全部永九快速线市政工程由永龙隧道（永和大道至永龙大道）、永龙大道（永龙隧道至广汕公路）及永九快速线（广汕公路至广从公路）三部分组成。

永龙隧道南北走向，南接永和经济开发区的永和大道，北接广汕路。

永龙隧道南端通过禾丰一纵路与永和大道连接，禾丰一纵路与永和大道相交路口平交处理。禾丰一纵路至永龙隧道南口段，设置高架桥，跨越禾丰横路。

永龙隧道北端洞口位于镇龙端，其中镇龙端出口丘陵地貌，植被茂盛，隧道北与广汕路相连。

永龙隧道左线设计单向三车道,全长 1865 米。具体如下表：

工程名称	中心桩号	起讫桩号	全长（m）
永龙隧道左线	ZK1+	ZK0+845~ZK2+710	1865

### A 标段

里程范围：ZK0+~ZK1+，主线长 904m

内容：主体土建工程

消防工程（给水）

附属土建工程（含永和端变配电所）

预埋管工程

DN800 给水管工程

### B 标段

里程范围：ZK1+~ZK2+，主线长 961m

内容：主体土建工程

消防工程（给水）

附属土建工程（含镇龙端变配电所）

预埋管工程

DN800 给水管工程

### C 标段

除上述 A、B 标段以外的附属工程。

# 隧道工程地质条件及评价

## 地形地貌

隧道位于广州市东北部的萝岗区，属丘陵地貌，群岭延绵，地势起伏，植被发育，多为松树、桉树及灌木，自然露头少，位于拟建隧道东侧 370m 处。于隧道左支里程 Zk1+760~Zk2+080 西侧 22~86m 处连续分布有 3 口水塘，隧道穿越 2 条沟谷，呈东西走向，沟谷中常年有水。隧道北侧洞口处地形坡度 18~20°，植被多为松树及灌木，较发育；南侧左线洞口处地形坡度 36°，洞口附近均种植果树。隧道南北洞口前沿为山前冲洪积平原，多为居民区或耕地，人口较少。由于场区临近北二环、广从公路及永和开发区，故交通较便利。

## 地质构造

### 1、物探异常带

根据物探解译的 5 处地质异常带，详细勘察时分别在 D2~D5 异常带两侧布置钻孔以查明异常带情况。由于 D1 异常带在隧道范围以外，故不予考虑。现将物探揭露的 D2~D5 异常带以及相应钻孔揭露的情况分述如下：

(1) D2 异常带。该处地层情况详见钻孔 zk15、zk16、zk35 及 zk36。由于以上钻孔揭露隧道埋藏段均为微风化花岗岩，裂隙发育~不甚发育，未揭露断层迹象，故推测该异常带对隧道影响不大。

(2) D3 异常带。该处地层情况详见钻孔 zk18、zk19、zk38（初勘 zk8）及 zk39。区域资料显示该处为谢村断裂，本次勘察钻孔揭露隧道埋藏段均为微风化花岗岩，但闪长岩脉发育，~。综合区域资料、物探资料以及钻孔资料，推测该处为谢村断裂（F1）通过。

(3) D4 异常带。该处地层情况详见钻孔 zk22、zk23、zk42 及 zk43。本次于钻孔 zk22、zk23、zk43 揭露岩石受构造作用，具有碎裂状结构，而且岩石具有硅化现象，岩石裂隙普遍发育，故推测该处为次级断裂经过或为断裂的影响带。

(4) D5 异常带。该处地层情况详见钻孔 zk24、zk25、zk44（初勘 9）、zk45、zk51 及 zk52。以上钻孔均揭露构造岩——碎裂岩。综合物探和钻孔资料分析，推断该处即为窝园断裂（F2）。但是，本场地揭露窝园断层位置与区域窝园断裂位置相距约 80m。

### 2、断层

本次隧道段主要为谢村断裂（F1）及窝园断裂（F2）通过。

(1) 谢村断裂（F1）：综合区域资料、物探资料以及钻孔资料，推测隧道右线里程 Yk2+010 及左线里程 Zk1+933 为谢村断裂（F1）通过，~，结合该处地形，故推测断裂性质为压性逆断层，走向南西；根据断层下盘即钻孔 zk38（初勘 zk8）揭露为完整微风化岩石，而断层上盘即钻孔 zk19、zk39 揭露闪长岩脉发育，故推测断层倾向北西，倾角 50~60°，由于断层附近钻孔揭露岩石总体性质较好，故推测该断裂发育带宽度较窄。

(2) 窝园断裂 (F2): 本次勘察在钻孔 zk24、zk25、zk44 (初勘 9)、zk45、zk51 及 zk52 均揭露到碎裂岩, ~, ~。根据区域地质资料和本次揭露的情况分析, 上述钻孔位置即为窝园断裂通过位置, 但本次揭露断层走向 NW-SE, 倾向 SW, 倾角 70~80°, 断裂带宽度 60~80m。本次揭露碎裂岩原岩主要为花岗岩, 在断层带中构造岩显示出受构造作用程度的不均匀性。从揭露到的碎裂岩分析, 断裂主要属压性, 而且具有多期活动, 表现在前期原岩被压碎形成碎裂 (碎粒) 岩带, 第二期活动形成碎裂岩的硅化带和石英脉, 后期活动强度较弱, 主要是将硅化碎裂岩带挤压破碎并造成裂隙发育。但断层带未发现近期活动的痕迹。

(3) 其它构造影响现象, 本次于钻孔 zk20、zk22、zk23、zk32 及 zk43 揭露, 这些部位的岩石受到过构造作用, 具有碎裂状结构, 且具有硅化现象, 岩石裂隙普遍发育, 故推测存在次级断裂或断裂影响的可能。

### 3. 地层岩性

据野外勘察资料, 本场区发育第四系上更新统坡积层 (Q3dl)、第四系残积层 (Qel)、加里东期花岗岩 (O1N)。现自上而下分述如下:

#### (1) 第四系上更新统坡积层 (Q3dl)

①亚粘土: 分布于两侧山坡前缘。褐黄色、褐红黄色, 可塑, 局部硬塑, 土质不均匀, 具砂感, 遇水易软化崩解。

#### (2) 第四系残积层 (Qel)

岩性为砂质粘性土, 褐黄色, 为花岗岩风化残积土, 除石英外, 长石、云母矿物均已风化呈土状, 土质遇水易软化崩解。按稠度状态可划分为可塑和硬塑两亚层。

#### (3) 加里东期花岗岩 (O1N)

场区基岩为加里东期中新序列南香山单元花岗岩 (O1N)。岩石呈浅灰、灰白色, 中细粒结构, 块状、条纹状构造, 矿物成分主要为石英、长石、黑云母。另外场地还揭露岩脉——闪长岩。根据岩石风化程度自上而下划分为以下 4 带

③1 全风化带: 呈褐黄色。原岩结构尚可辨, 长石、黑云母矿物大部分已风化成土状。岩芯呈坚硬土柱状, 土质遇水易软化崩解。

③2 强风化带: 呈褐黄色、褐黄色。岩石风化强烈, 岩芯多呈坚硬土柱状及半岩半土状, 局部夹碎块状岩芯, 岩芯一般遇水软化崩解, 岩块用手可折断。

③3 弱风化带: 呈褐黄色、青灰色及灰白色, 岩石裂隙发育, 见铁染。岩芯呈块状、扁柱状或短柱状。岩质较坚硬, 锤击声脆。

③4 微风化带: 呈浅灰色、灰色, 青灰色。岩石裂隙发育~不甚发育, 岩芯呈扁柱状、短柱状及长柱状, 部分岩芯呈碎块状及块状, 岩质新鲜, 致密坚硬, 锤击声脆。

### 4、碎裂岩 (F)

灰色及灰白色, 母岩为花岗岩, 碎裂 (碎粒) 状结构, 岩石经强烈构造作用呈角砾片理化, 角砾呈定向排列, 岩石具有不同程度硅化现象。揭露片理化与岩芯轴心夹角 10°~20°。~, 在钻孔深度范围内尚无法揭穿。按岩石风化程度可划分为以下 4 带:

④1 全风化带: 呈褐黄色。岩石受构造作用强烈, 而且岩石风化强烈, 岩芯呈坚硬土柱状, 土质

遇水易软化崩解。

④2 强风化带：呈褐黄色。岩石风化强烈，岩芯多呈坚硬土柱状及半岩半土状，局部夹碎块状岩芯，岩芯一般遇水软化崩解，岩块用手可折断。

④3 弱风化带：呈褐黄、褐灰色，岩石受构造作用呈碎裂状结构。岩石裂隙很发育，主要揭露三组较为发育的裂隙，裂隙面分别与岩芯轴心夹角  $0\sim 10^\circ$ ， $45\sim 50^\circ$  以及  $65\sim 70^\circ$ ，频度 5~8 条/m，裂隙面铁质渲染严重，部分裂隙为张性裂隙，半充填或无充填，充填物质主要为硅质及铁质。岩石有不同程度的硅化现象。岩芯一般呈碎块状、块状，少量扁柱状及柱状，岩质硬，但岩块锤击易碎。

④4 微风化带：呈褐灰色，青灰色。碎裂状结构，岩石隐蔽裂隙发育，局部裂隙面见铁质渲染。岩芯呈扁柱状及短柱状，部分岩芯破碎呈碎块状及块状，岩质较坚硬，锤击声脆，易沿隐蔽裂隙面破开。

### 解理裂隙

在隧道范围地表土覆盖严重，植被发育，天然露头少。本次勘察的节理裂隙调查是在道路开挖坡面及出露的天然露头上进行的，调查场地的岩性为花岗岩，场地主要发育 7 组裂隙，分别是①裂隙走向  $NW80^\circ\sim 90^\circ$ ，频度 3~4 条/米；②裂隙走向  $NW50^\circ\sim 55^\circ$ ，频度 3~3 条/米；③裂隙走向  $NW20^\circ\sim 30^\circ$ ，频度 3~5 条/米；④裂隙走向  $NE0^\circ\sim 10^\circ$ ，频度 3 条/米；⑤裂隙走向  $NE20^\circ\sim 30^\circ$ ，频度 1~2 条/米；⑥裂隙走向  $NE55^\circ\sim 60^\circ$ ，频度 2~3 条/米；⑦裂隙走向  $NE80^\circ\sim 90^\circ$ ，频度 3~5 条/米。其中②和⑤以及③和⑥为两对共轭裂隙。节理裂隙一般呈闭合状，宽度  $\leq$ 。由节理玫瑰花图可知，与隧道走向呈  $40^\circ$  交角的裂隙即③裂隙最发育，裂隙多倾向北东。

#### 1、地下水

场区地下水类型主要为孔隙潜水、基岩孔隙裂隙承压水和断层破碎带裂隙承压水。

(1) 孔隙潜水：主要赋存及运移于山间谷地冲沟附近坡洪积层中，坡洪积层分布有粗细不均匀砂颗粒，具孔隙性，含孔隙潜水。地下水主要接受大气降水的渗入补给和基岩裂隙水的侧向补给，并通过泉水或地下迳流排泄于沟谷中。

(2) 基岩孔隙裂隙承压水：基岩强、弱风化岩石孔隙裂隙发育，含孔隙裂隙承压水，但水量一般不大。地下水主要接受大气降水的补给，并以迳流形式排泄补给坡洪积层的孔隙潜水，或直接出露地表以下降泉形式排泄于沟谷中。

(3) 断层破碎带裂隙承压水：主要赋存及运移于断层破碎带中，具承压性。从钻孔 ZK9 钻进过程中发生全漏水的现象分析，断层破碎带为地下水富集地段，水量较大。

地质调查发现，场地出露有 6 处泉水分布，其中两处泉水横穿流经隧道，泉水主要接受基岩孔隙裂隙水的补给。

隧道附近有三口水塘，主要接受大气降水和基岩孔隙裂隙水的补给。

通过地表水文地质调查，钻孔及抽水、注水试验分析和水试样检测等工作，得到场区以下水文地质规律：

(1) 场区的孔隙潜水局限在山间谷地冲沟中，以泉水或迳流排泄于沟谷中，水量受降水影响，变化很大。

(2) 基岩孔隙裂隙水在场区广泛分布，水量一般不大，一般沿山坡运移到坡脚作为坡洪积层潜水的补给或直接以下降泉方式排泄到沟谷中；而在断裂破碎带附近是断裂带裂隙承压水的补给源。



(3) 在断层带，地下水位明显降低，尤其在窝园断裂带已形成明显的地下水漏斗区，并且其附近的所有钻孔都出现全漏水现象，表明断裂带属于地下水的良好通道。

(4) 左线里程 Zk1+700~Zk2+000 段西边的鱼塘水可能与地下基岩裂隙发育带的地下水存在水力联系，在钻孔 zk17 的抽水试验中，离鱼塘仅 13m 的钻孔 zk50 存在水位下降，最大降深达 11cm。

(5) 抽水、注水试验计算表明，场区的强、~，~，属于弱透水层。而坡积土层、残积土层、全风化岩层及微风化岩层属于相对隔水层。

(6) 场区无论是地表泉水，还是地下水，在强透水层中均存在分解类中腐蚀性，不存在结晶类腐蚀和结晶分解复合类腐蚀。

## 2、隧道涌水量预测

隧道各里程段涌水量预测见下表。

隧道各里程段涌水量预测一览表

隧道里程	Zk0+847~ Zk1+014	Zk1+014~ Zk1+161	Zk1+161~ Zk1+195	Zk1+693~ Zk1+879	Zk2+480~ Zk2+639
涌水量预测 (m <sup>3</sup> /d)					

值得说明的是，表中所预测的水平巷道涌水量是基于单条隧道分别进行预测的，未考虑左右两条隧道同时施工排水互相干扰的因素。另外，由于隧道址地处于丘陵区，地势较高，地下水的补给来源不足，在隧道施工开始时，可能隧道内涌水量较大，这时的涌水量以消耗地下水的静储量为主，随后，隧道内的涌水量将逐渐减小。

## 不良地质现象及特殊岩土

场地不良地质主要是断层破碎带，特殊岩土主要是花岗岩风化土、残积土和球状风化体，俗称“孤石”。

由于地质构造作用，断层破碎带中岩石强度不均匀，带中基岩裂隙很发育，岩体破碎，部分岩石具有硅化现象，岩质坚硬，而且断层破碎带为地下水富集地段，隧道开挖至断层破碎带时，应注意防止围岩坍塌或冒落事故以及地下水突涌等现象。

场地为花岗岩，在花岗岩残积土及全、强风化花岗岩中普遍发育球状风化体，俗称“孤石”，勘察于永和端隧道浅埋段钻孔 zk3、zk4、zk29、zk31、zk32 均揭露“孤石”，而且地质调查时，也发现在永和端隧道附近有“孤石”和散落的滚石。孤石大小不一，岩质为弱、微风化花岗岩，岩质坚硬。因此，在洞口尤其是浅埋段极可能遇到“孤石”现象，其一方面增加开挖难度，另一方面可能在开挖中形成不稳定掉块或坍塌从而影响施工安全。应予以重视。

另外场地为花岗岩地区，花岗岩残积土及全、强风化花岗岩含亲水矿物，遇水易软化崩解，洞口处分布花岗岩残积土及全、强花岗岩，洞口开挖后，除了应注意土层易产生滑塌外，还应注意防止大气降水或施工用水浸泡土层以避免土层强度降低。

## 岩土评价

①亚粘土层呈可塑状，工程性质较好。属 I 类松土。

②1、②2 砂质粘性土层呈可塑及硬塑状，土质好，具有一定承载力。可塑土属 I 类松土，硬塑土属 II 类普通土。

③1 全风化带岩石呈坚硬土柱状，具有一定承载力。属 III 类硬土。

③2 强风化带岩石呈坚硬土柱状或半岩半土状，部分呈岩块状，均具有一定承载力，工程性质好。属 III 类硬土。

③3 弱风化带岩石岩质较硬，强度较高。一般弱风化岩石属 V 类次坚石。

③4 微风化岩岩质坚硬，强度高，属 VI 类坚石。

④1 全风化带岩石呈坚硬土柱状，具有一定承载力。属 III 类硬土。

④2 强风化带岩石呈坚硬土柱状或半岩半土状，部分呈岩块状，均具有一定承载力。属 III 类硬土。

④3 弱风化带岩石岩质较硬，强度较高。一般弱风化岩石属 V 类次坚石。

④4 微风化岩岩质坚硬，强度高，属 VI 类坚石。

上述土、石工程分级根据《公路工程地质勘察规范》JTJ 064-98 划分。

## 地震效应

1、根据《广东省地震烈度区划图》，场区的地震基本烈度为 VI 度，据《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2001）场区的抗震设防烈度为 7 度，设计地震分组为第一组。从地震活动时空分布来看，广州地区属于东南沿海地震带中部，具有“外带强，内带弱”的特征，~5 级，多属中小型有感地震，无大于 6 级的灾害性强震记载。

2、场区软土层不发育，为可进行建设的一般场地。但隧道为断裂经过地段，应属建筑抗震不利地段

3、场地土的类型为中软土~中硬土，浅部土层主要为中软土，场地南北两侧山坡处等效剪切波速介于 140~250m/s 之间，覆盖层厚度一般在 3~50m 之间，场地中部等效剪切波速介于 250~500m/s 之间，覆盖层厚度 $\geq 5\text{m}$ ，据《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2001），场地类型为 II 类。

## 隧道设计标准及遵循的规范

### 技术标准

- 1、道路等级：城市 I 级主干道
- 2、设计速度：60km/h。
- 3、设计车道：单向三车道
- 4、隧道内路面横坡：2%

5、隧道结构安全等级：I级

6、隧道防水等级：II级

7、荷载等级：城-A

区域地震设防烈度：VII

、

- 1) 《城市道路设计规范》 CJJ 37-90
- 2) 《公路隧道设计规范》 JTG D70-2004
- 3) 《公路工程技术标准》 JTG B01-2003
- 4) 《地下工程防水技术规范》 GB50108-2001
- 5) 《锚杆喷射混凝土支护技术规范》 (GB50086-2001)
- 6) 《公路水泥混凝土路面设计规范》 (JTGD40-2002)
- 7) 《混凝土结构设计规范》 (GB50010-2002)
- 8) 《公路隧道施工技术规范》 (JTJ 042-94)
- 9) 《公路隧道通风照明设计规范》 JTJ026. 1—1999
- 10) 《环境空气质量标准》 GB3095—1996
- 11) 《城市区域环境噪声标准》 GB3096—93

## 第 2 章 隧道总体设计

### 隧道的线型设计

根据地质、地形、路线走向、通风等因素确定隧道平曲线的线形。隧道为单向交通，路面横坡取单面坡，坡度为 2%。

### 隧道横断面设计

#### 隧道建筑限界

进行衬砌断面几何尺寸设计时，主要是从两方面考虑：第一是根据给定的建筑限界确定隧道净空形状，也就是选定结构的内轮廓线；第二是确定衬砌截面的厚度即用以检算强度的截面面积。

#### 隧道建筑限界的定义

隧道建筑限界是为了保证隧道内各种交通的正常运行与安全，而规定在一定宽度和高度范围内不得有任何障碍物的空间限界。而设计中，应充分研究各种车道与公路设施之间所处的空间关系，任何部件（包括隧道本身的通风、照明、安全、监控及内部装修等附属设施）均不得侵入隧道限界之内。隧道建筑限界是决定隧道净空尺寸的依据，对设计、施工、运营来说都很重要。而且隧道是永久性建筑，一旦建成，就很难改动。因此，隧道建筑限界的确定，对隧道的设计来说至关重要。

#### 隧道建筑限界的组成

公路隧道建筑限界由行车道宽度（W）、路缘带（S）、侧向宽度（L）、人行道（R）或检修道（J）等组成。当设置人行道时，含余宽（C）。

为了消除或减少隧道边墙给驾驶员带来的惟恐与之冲撞的心理影响（“侧墙效应”），保证一定的车速的安全通行，应在车道两侧设置一定宽度的路缘带，余宽或人行横道，以满足侧向净空的需要。

设置路缘带的目的：（1）诱导驾驶员视线，增加行车安全；（2）为行车道提供一部分必须的侧向净宽，保证行车道的充分利用。

高速公路和一级公路隧道内应设置检修道。其它等级公路隧道，应根据隧道所在地区的人行密度、隧道长度、交通量及交通安全等因素确定人行道的设置。检修道或人行道宜双侧设置；检修道或人行道的高度可按 20~80cm 取值，并综合考虑以下因素：

检修人员步行时的安全；

紧急情况时，驾乘人员拿取消防设备方便；

满足其下放置电缆、给水管等的空间尺寸要求。

连拱隧道在设置余宽时，当最高时速达 120km/h 与 100km/h 时，应不小于 50cm，当最高时速达 80km/h 与 60km/h 时，应不小于 25cm。

#### 永龙隧道建筑限界的确定

根据《公路隧道设计规范》的规定，各级汽车专用公路的隧道建筑限界如表 2-1 所示。在限界范围内，任何建筑物及设备都不得侵入。

表 2-1 公路隧道建筑限界横断面组成最小宽度（单位：m）

公路等级	设计速度 (km/h)	车道宽度 W	侧向宽度		余宽	人行道 R	检修道 J		隧道建筑限界净宽		
			左侧 LL	右侧 LR			左侧	右侧	设检修道	设人行道	不设检修道、人行道
高速公路	120	×2									
	100	×2									
	80	×2									
	60	×2									
二级公路	80	×2									
	60	×2									
三级公路	40	×2									
	30	×2									
四级公路	20	×2									

注：三车道隧道除增加车道数外，其他宽度同表；增加爱车道的。

根据原始资料，永龙隧道左线为城市 I 级主干道，设计行车速度为 60km/h，由表 2-1 可确定永龙隧道左线建筑限界取值为：

1、隧道建筑限界

( 1 ) 单向三车道路面宽度：(左侧向宽度  $L_L$ ) + x2 (行车道宽 w) + (右侧向宽度  $L_R$ ) =

( 2 ) 单向隧道建筑限界：宽度 = (检修道宽 J) + (路面宽 W) + (检修道宽 J) = ； 高度 =

( 3 ) 隧道内轮廓（有仰拱、无仰拱）：宽度 = (余宽) + (隧道建筑限界) + (余宽) = ； 高度 = (有仰拱)，高度 = (无仰拱)。

( 4 ) 行驶方向：双线单向三车道；

隧道衬砌内净空根据隧道所处的围岩地质具体情况，I 级、II 级围岩内净空采用曲墙无仰拱形式，III、IV、V 级围岩内净空采用曲墙有仰拱形式。隧道拱墙部位为三心圆形式。隧道内净空与建筑限界之间的净空预留了内装饰层、照明等机电设备及营运管理设施及沉降所需空间。考虑到排水要求，%的单面横坡。

2、车行、人行横洞断面

车行横洞建筑限界：，。

人行横洞建筑限界：，。

隧道建筑界限图如下

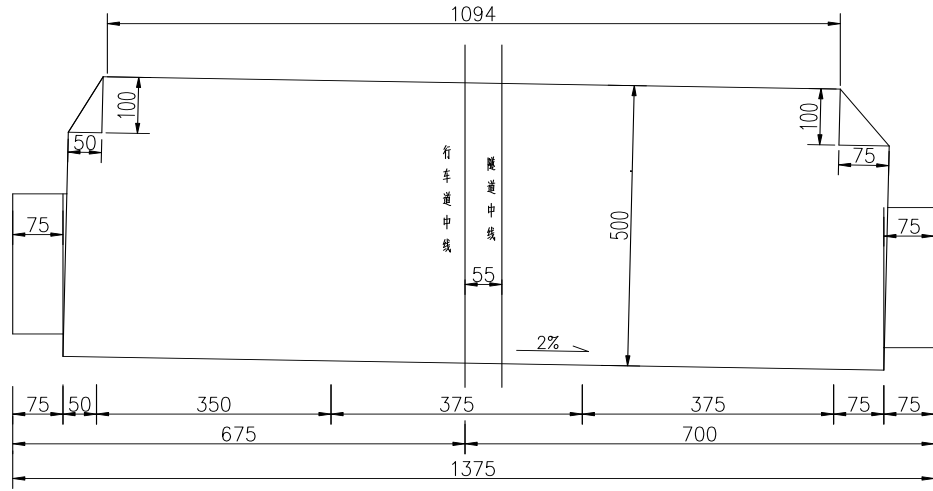
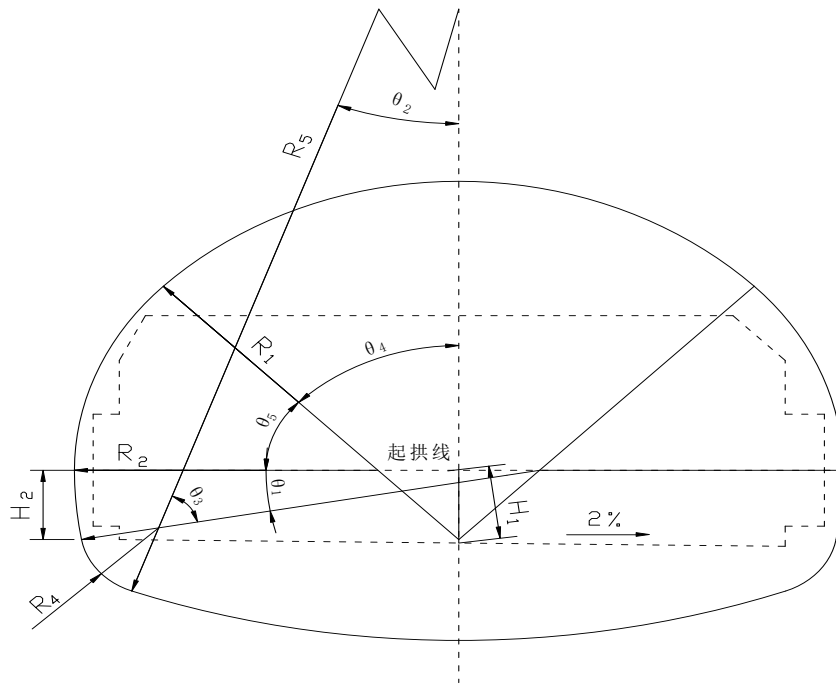


图 2-1 隧道建筑限界图(单位: cm)

### 3 隧道标准内轮廓设计

根据《公路隧道设计规范》(GTJ-2004) 76 页“附录 B”的规定, 公路隧道内轮廓标准为:



三车道隧道标准内轮廓标准断面 (单位: cm)

:  $R_1$  - 拱部圆弧半径;  $R_2$  - 拱部与侧墙连接段圆弧半径;  $R_3$  - 侧墙圆弧半径;  $R_4$  -

侧墙与仰拱连接段圆弧半径； $R_5$ —仰拱圆弧半径； $H_1$ —路面至起拱线的高度； $H_2$ —设仰拱时的侧墙结构高度（侧墙与仰拱连接点至起拱线的高度）； $\theta_1$ —设仰拱时起拱线与 $R_2$ 的夹角； $\theta_2$ —隧道结构中心线与 $R_5$ 的夹角； $\theta_3$ —侧墙与仰拱连接段夹角， $\theta_3 = 90^\circ - \theta_1 - \theta_2$ ； $\theta_4$ —半径为 $R_1$ 的拱部圆弧段夹角； $\theta_5$ —半径为 $R_2$ 的圆弧段夹角。

该隧道内轮廓采用三心圆，半径 $R_1 = 860\text{cm}$ ， $R_2 = 600\text{cm}$ ， $R_3 = 1100\text{cm}$ ， $R_4 = 120\text{cm}$ ， $R_5 = 2200\text{cm}$ ， $\theta_1 = 6^\circ 55' 18''$ ， $\theta_2 = 20^\circ$ ， $\theta_3 = 64^\circ 42' 19''$ ， $\theta_4 = 45^\circ$ ， $\theta_5 = 45^\circ$ ， $H_1 = 260\text{cm}$ ， $H_2 = 132\text{cm}$ 衬砌净高 $H = 1020.1\text{cm}$ (有仰拱)，净宽 $B = 1567.7\text{cm}$ 。

## 第 3 章 隧道洞门设计

### 洞门的设计

洞门形式的选择：两端洞门形式都选端墙式洞门

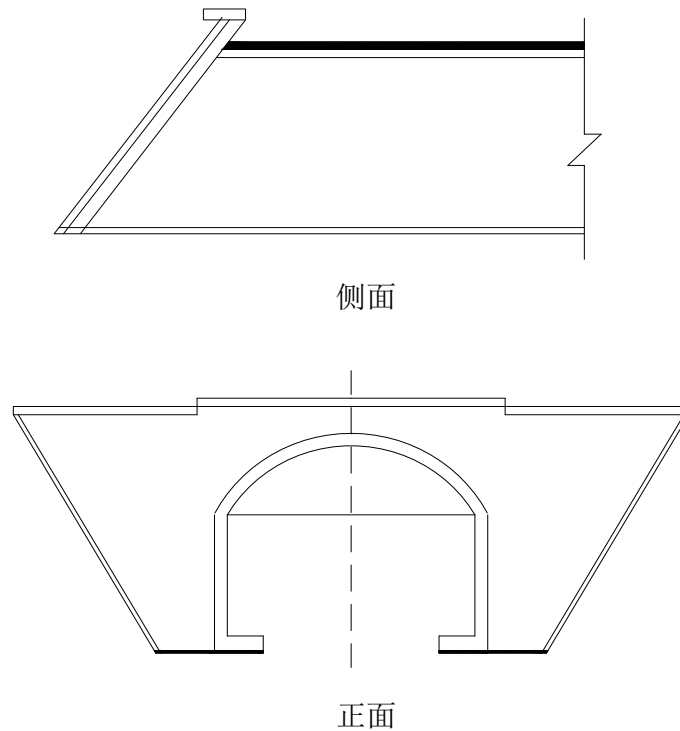


图 3-1 端墙式洞门简图

:

洞门所处位置地形开阔、适合建造端墙式洞门。另外，端墙式洞门采用等厚的直墙，圬工体积比其他形式都小，在强调整约型社会的今天，具有重要意义。

:

(1) 端墙的高度应使洞身衬砌的上方有 1m 以上的回填层，以减缓山坡滚石对衬砌的冲击；为保证仰坡滚石不致跳跃超过洞门落到线路上去，端墙应适当上沿形成挡碴防护墙，其高度从仰坡算起；端墙基础应设置在稳固的地基上，其深度视地质条件、冻害程度而定。

(2) 端墙的厚度应按挡土墙的方法计算。

(3) 端墙宽度与路堑横断面相适应。

:



采用挡墙式洞门时，洞门墙可视为挡土墙，按极限状态验算，并应验算绕墙趾倾覆及沿基底滑动的稳定性。验算时应符合下表的规定，并应符合《公路路基设计规范》、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》、《公路桥涵地基与基础设计规范》的有关规定。

洞门墙主要验算规定见表 3-1。

表 3-1

墙身截面荷载效应值 $S_d$	$\leq$ 结构抗力效应值 $R_d$ (按极限状态算)	墙身截面荷载效应值 $S_d$	$\leq$ 结构抗力效应值 $R_d$ (按极限状态计算)
墙身截面偏心距 $e$	$\leq$ 0.3 倍截面厚度	滑动稳定安全系数 $K_c$	$\geq$ 1.3
基底应力 $\sigma$	$\leq$ 地基容许承载力	倾覆稳定安全系数 $K_0$	$\geq$ 1.6
基底偏心距 $e$	岩石地基 $\leq B/5 \sim B/4$ ; 土质地基 $\leq B/6$ (B 为墙底厚度)		

表 3-2 洞门设计计算参数

仰坡坡率	计算摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	容重 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	基底摩擦系数 $f$	基底控制压应力 (Mpa)
1:	70	25		
1:	60	24		
1:1	50	20		~
1:	43~45	18		~
1:	38~40	17	~	

## · 洞口端墙设计

### (1) 计算参数确定

端墙墙身高度设计为  $h=12\text{m}$ 。墙体采用内倾式，倾角  $\alpha = 6^{\circ}$ 。由于仰坡坡度为 1:1，根据《公路隧道设计规范》(JTG-2004)“洞门设计计算参数”表，取：墙后岩土体的计算摩擦角为  $\varphi = 70^{\circ}$ ，重度为  $\gamma = 25\text{kN/m}^3$ ，基底摩擦系数  $f = 0.6$ ，基底控制压应力  $\sigma = 0.80\text{Mp}$ 。

(2) 验算条带的选取及计算要点:

取 I 作为“验算条带”，验算墙身截面偏心和强度以及基底偏心、应力及沿基底的滑动和绕墙趾倾覆的稳定性。

(3) 洞门土压力计算

根据《公路隧道设计规范》(JTG-2004)“附录 H 洞门土压力荷载的计算方法”，最危险滑裂面与垂直面之间的夹角:

$$\tan \omega = \frac{\tan^2 \varphi + \tan \alpha \tan \varepsilon - \sqrt{(1 + \tan^2 \varphi)(\tan \varphi - \tan \varepsilon)(\tan \varphi + \tan \alpha)(1 - \tan \alpha \tan \varepsilon)}}{\tan \varepsilon(1 + \tan^2 \varphi) - \tan \varphi(1 - \tan \alpha \tan \varepsilon)} \quad (3-1)$$

式中:  $\varphi$ ——围岩计算摩擦角,  $\varphi = 70^\circ$ ;

$\varepsilon$ 、 $\alpha$ ——地面坡角与墙面倾角,  $\varepsilon = \arctan \frac{1}{0.5} = \arctan 2 = 63^\circ$ ,  $\alpha = 6^\circ$ 。

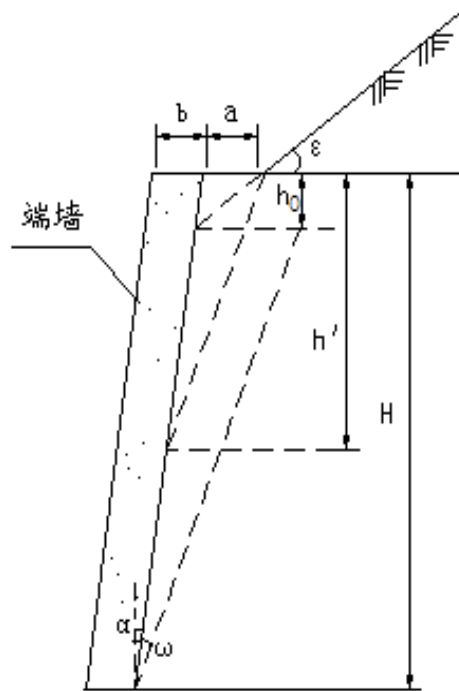


图 3-2 洞门土压力计算图

$$\begin{aligned}\tan \omega &= \frac{\tan^2 70^\circ + \tan 6^\circ \tan 63^\circ - \sqrt{(1 + \tan^2 70^\circ)(\tan 70^\circ - \tan 63^\circ)(\tan 70^\circ + \tan 6^\circ)(1 - \tan 6^\circ \tan 63^\circ)}}{\tan 63^\circ(1 + \tan^2 70^\circ) - \tan 70^\circ(1 - \tan 6^\circ \tan 63^\circ)} \\ &= \frac{7.5486 + 0.1051 \times 2 - \sqrt{8.5486 \times 0.7475 \times 0.2888 \times 0.7898}}{2 \times 8.5486 - 2.7475 \times 0.7898} \\ &= \frac{6.5515}{14.9272} \\ &= 0.44\end{aligned}$$

∴  $\omega = 21.8^\circ$  取  $\omega = 22^\circ$ 。

根据《公路隧道设计规范》(JTG-2004)“附录 H 洞门土压力荷载的计算方法”，土压力：

$$E = \frac{1}{2} \gamma \lambda [H^2 + h_0(h' - h_0)] b \xi \quad (3-2)$$

$$\lambda = \frac{(\tan \omega - \tan \alpha)(1 - \tan \alpha \tan \varepsilon)}{\tan(\omega + \varphi)(1 - \tan \omega \tan \varepsilon)} \quad (3-3)$$

$$h' = \frac{a}{\tan \omega - \tan \alpha} \quad (3-4)$$

式中：

$E$ — 土压力 (kN)；

$\gamma$ — 地层重度 (kN/m<sup>3</sup>)；

$\lambda$ — 侧压系数；

$\omega$ — 墙背土体破裂角 (°)；

$b$ — 洞门墙体计算条带宽度 (m)，取  $b = 1.5\text{m}$  计算；

$\xi$ — 土压力计算模式不确定性系数，取  $\xi = 0.6$ ；

$a$  取  $2\text{m}$ 。

把数据代入各式：

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{(\tan 22^\circ - \tan 6^\circ)(1 - \tan 6^\circ \tan 63^\circ)}{\tan(22^\circ + 70^\circ)(1 - \tan 22^\circ \tan 63^\circ)} \\ &= \frac{0.3000 \times 1.5820}{1.2443 \times 0.9823} \\ &= \frac{0.4746}{1.2223} \\ &= 0.3883\end{aligned}$$

$$h' = \frac{a}{\tan \omega - \tan \alpha} = \frac{2}{\tan 22^\circ - \tan 6^\circ} = 6.7\text{m}$$

$$h_0 = \tan 63^\circ \times a = 2 \times 2 = 4\text{m}$$

洞门土压力  $E_a$  :

$$\begin{aligned} E_a &= \frac{1}{2} \gamma \lambda [H^2 + h_0(h' - h_0)] b \xi \\ &= \frac{1}{2} \times 25 \times 0.3883 \times [10^2 + 4 \times (6.7 - 4)] \times 1.5 \times 0.6 \\ &= 76 \text{ kN} \end{aligned}$$

(4) 抗倾覆验算

计算简图如图 3-3 所示, 挡土墙在荷载作用下应不致绕墙底脚 O 点产生倾覆时应满足下式:

$$K_0 = \frac{\sum M_y}{\sum M_0} \geq 1.5 \quad (3-5)$$

式中:

$K_0$  - 倾覆稳定系数,  $K_0 \geq 1.5$ ;

$\sum M_y$  - 全部垂直力对墙趾的稳定力矩;

$\sum M_0$  - 全部水平力对墙趾的倾覆力矩。

自重为:

$$W = \gamma_k b_0 H b_0 = 22 \times 1.5 \times 10 \times 1.5 = 495 \text{ kN}$$

$$b_1 = \frac{b + H \tan \alpha}{2} = \frac{1.5 + 10 \times \tan 6^\circ}{2} = 1.3 \text{ m}$$

$$\sum M_y = W b_1 = 495 \times 1.3 = 643.5 \text{ kN/m}^3$$

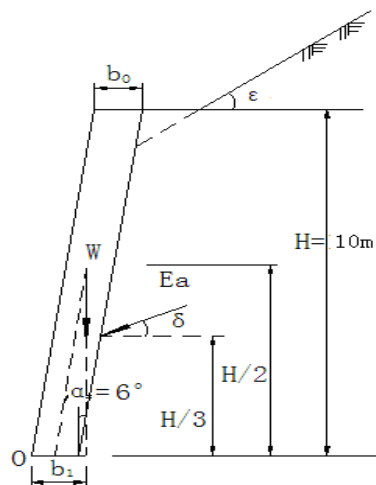


图 3-3 端墙计算图

$$\delta = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}\right)\varphi = (23.3^\circ \sim 46.7^\circ), \text{ 取 } \delta = 25^\circ。$$

$$\therefore \sum M_0 = E_a \cos \delta H/3 = 76 \times \cos 25^\circ \times 10/3 = 229.6 \text{ kN/m}^3$$

把  $\sum M_y$ 、 $\sum M_0$  代入式 3-5:

$$K_0 = \frac{\sum M_y}{\sum M_0} = \frac{643.5}{229.6} = 2.8 > 1.5$$

计算结果满足要求。

#### (5) 抗滑移验算

对于水平基底，按如下公式计算:

$$K_c = \frac{\sum N \cdot f}{\sum E} \geq 1.3 \quad (3-6)$$

式中:

$K_c$ — 滑动稳定系数;

$\sum N$ — 作用于基底上的垂直力之和;

$\sum E$ — 墙后主动土压力之和;

$f$ — 基底摩擦系数，取  $f = 0.60$ 。

代入式 3-6，得:

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{\sum N \cdot f}{\sum E} \\ &= \frac{(W + E_a \sin \delta) \cdot f}{E_a} = \frac{(495 + 76 \times \sin 25^\circ) \times 0.60}{76} = 4.16 > 1.3 \end{aligned}$$

计算结果满足要求。

#### (6) 基底合力偏心矩验算

对于水平基底:

$$e = \frac{b_0}{2} - c \quad (3-7)$$

式中:

$e$ — 水平基底偏心矩;

$b_0$ — 水平基底宽度 (m);

$$c = \frac{\sum M_y - \sum M_0}{\sum N} = \frac{643.5 - 238}{521} = 0.74$$

将数据代入式 3-7, 得:

$$e = \frac{1.5}{2} - 0.74 = 0.01 < \frac{1.5}{6} = 0.25$$

计算结果满足要求。

(7) 基底压应力验算

对于水平基底:

$$e = 0.01 < \frac{1.5}{6} = 0.25$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\min}^{\max} &= \frac{\sum N}{b_0} \left( 1 \pm \frac{6e}{b_0} \right) \\ &= \frac{521}{1.5} \left( 1 \pm \frac{6 \times 0.01}{1.5} \right) = \begin{cases} \sigma_{\max} & 365.47 \text{ kPa} \\ \sigma_{\min} & 337.36 \text{ kPa} \end{cases} \end{aligned}$$

$\sigma_{\max} = 365.47 \text{ kPa} < \text{基底控制压应力 } \sigma = 0.8 \text{ MPa}$ , 计算结果满足要求。

(8) 墙身截面偏心及强度验算

① 偏心矩  $e_b$ :

$$e_b = \frac{M}{N} \quad (3-8)$$

式中:

$M$ — 计算截面以上各力对截面型心力矩的代数和;

$N$ — 作用于截面以上垂直力之和。

$$\begin{aligned} M &= E_{ax} \cdot \left( \frac{H}{2} - \frac{H}{3} \right) - E_{ay} \cdot \frac{b_0}{2} \\ &= 76 \times \cos 25^\circ \times \left( \frac{10}{2} - \frac{10}{3} \right) - 76 \times \sin 25^\circ \times \frac{1.5}{2} \\ &= 99.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$N = W + E_{ay} = 495 + 76 \times \sin 25^\circ = 527.12 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

将数据代入式 3-8, 得:

$$e_b = \frac{99.5}{527.12} = 0.19 \text{ m} < 0.3b_0 = 0.45 \text{ m}, \text{ 计算结果满足要求。}$$

②应力  $\sigma$  :

$$\sigma = \frac{N}{b_0} \left( 1 \pm \frac{6e_b}{b_0} \right) = \frac{521}{1.5} \left( 1 \pm \frac{6 \times 0.19}{1.5} \right) \text{ 则,}$$

$$\sigma_{\max} = 618.6 \text{ kPa} < \text{容许应力 } 6.8 \text{ MPa}$$

通过对计算条带进行墙身偏心及强度，绕墙趾的抗倾覆性、沿基底滑动的稳定性以及基底应力验算，洞门端墙及柱子都是满足表 4-1 的洞门墙主要验算规定的。因此，洞门墙的设计尺寸是合乎要求的。

## 第 4 章 隧道衬砌结构内力分析与结构设计

### 概述

隧道洞身衬砌结构设计以新奥法原理为指导，采用复合式衬砌，以初期支护为主要承载结构和二次衬砌与之共同承载。结构设计按照工程类比法，查阅《公路隧道设计规范》JTG D70—2004，选择合适的参数进行设计，再选取具有代表性的截面进行稳定性验算，直至满足规范所规定的要求。

### 初期支护设计

本隧道处在类 I 级和 V 级围岩中，虽隧道最大埋深 190m，但隧道通过区沟系较密集，施工中有遇突水、突泥的可能性。

现在围岩状况较差的 II 类（V 级）围岩段，选取埋深为 25m 来进行隧道初期支护设计。

根据隧道岩层性质及周围工程地质条件，由工程类比的方法，参照国家标准的《锚杆喷射混凝土支护技术规范》（500086—2001）初期支护选用  $t$  厚的钢筋网喷射混凝土，设置锚杆长为  $l_0$ ，梅花状布置。

### 设计参数的确定

隧道深浅埋类型的确定

深埋和浅埋隧道的分界、施工方法等因素综合判定，可以按荷载等效值，并结合地质条件按荷载等效高度的判定式为：

$$H_p = (2 \sim 2.5)h_q \quad (4-1)$$

式中：

$H_p$  —— 深浅埋隧道的分界深度；

$h_p$  —— 荷载等效高度，按下式计算： $h_q = \frac{q}{\gamma}$ ；

$q$  —— 深埋隧道垂直均布压力（ $kN/m^2$ ）；

$\gamma$  —— 围岩容重（ $kN/m^3$ ）。

在矿山法施工的条件下，I 类（VI 级）、II 类（V 级）围岩取  $H_p = 2.5h_p$ ；



$$q = 0.45 \times 2^{6-s} \times \gamma w \quad (4-2)$$

式中：

$s$ —围岩级别，根据地质条件，围岩属于 II（V 级）类，则取  $s = 2$ ；

$\gamma$ —围岩的容重，由地质条件取  $\gamma = 20 \text{ kN} / \text{m}^3$ ；

$w$ —宽度影响系数， $w = 1 + i(B - 5)$ ；

$B$ —隧道宽度，取  $B = 15.68 \text{ m}$ 。（隧道衬砌净宽）

$i$  以  $B = 5 \text{ m}$  为基准， $B$  每增减  $1 \text{ m}$  时的围岩压力的增减率，当  $B \leq 5 \text{ m}$  时，取  $i = 0.2$ ；当  $B \geq 5 \text{ m}$  时，取  $i = 0.1$ 。

代入数据有：

$$\begin{aligned} q &= 0.45 \times 2^{6-s} \gamma w \\ &= 0.45 \times 2^{6-2} \times 20 \times [1 + 0.1 \times (15.68 - 5)] \\ &= 297.80 \text{ kPa} \end{aligned}$$

荷载有效高度为：

$$h_q = \frac{q}{\gamma} = \frac{297.80}{20} = 14.89 \text{ m}$$

在 I、II 类围岩中，深浅埋隧道的分界高度为：

$$\begin{aligned} H_p &= (2 \sim 2.5) h_q \\ &= (2 \sim) \times \\ &= (\sim) \text{ m} \end{aligned}$$

埋深  $25 \text{ m}$ ，小于  $H_p = 37.23 \text{ m}$ ，属浅埋段。考虑到在初期支护时的降雨，地震，温差等各种自然条件的影响，根据《公路隧道设计规范》（JTG—2004）中各级围岩物理力学指标标准值，设计参数按以下取值： $q = 3 \text{ Mpa}$ ， $c = 0.1 \text{ Mpa}$  计算摩擦角  $\varphi_c = 40^\circ$ ， $\theta = 0.6\varphi_c = 24^\circ$ ；无锚杆时隧道的位移是  $u_0 = 0.1 \text{ m}$ ，有锚杆时隧道的位移是  $u_0^a = 0.8u_0 = 0.08 \text{ m}$ 。查《公路隧道设计规范》（JTG—2004）附录 1，围岩变形模量  $E = 1.5 \times 10^3 \text{ Mpa}$ ，泊松比  $\mu = 0.4$ ，围岩的单轴抗压强度  $R_c = 11 \text{ Mpa}$ 。查《钢筋混凝土结构设计原理》附录，C20 混凝土轴心抗压强度标准值为  $f_{ck} = 13.4 \text{ Mpa}$ ，弹性模量  $E_c = 2.55 \times 10^4 \text{ Mpa}$ ，泊松比  $\mu_c = 0.35$ ； $\Phi 25$  的锚杆布置为  $70 \times 75 \text{ cm}$ ，弹性模量

$E_a = 2.1 \times 10^5 \text{ Mpa}$ ，抗剪切强度  $\tau_a = 312 \text{ N/mm}^2$ ，安全系数  $K_1 = 1.2$ ，锚杆横截面面积为  $A_s = 4.909 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 。设计时，为了计算简便，将隧道洞室看成是圆形洞室，锚杆外端半径  $r_0 = 6.73 \text{ m}$ ，喷层混凝土外壁半径  $r_i = 6.43 \text{ m}$ ，锚杆内端半径  $r_c = 11.23 \text{ m}$ 。

埋深  $25 \text{ m}$  大于  $h_p = 24.84 \text{ m}$ ，小于  $H_p = 31.05 \text{ m}$ ，属浅埋段。可按下式计算围岩压力：

$$q_{\text{浅}} = \gamma H \left(1 - \frac{H}{B} \lambda \tan \theta\right) \quad (4-3)$$

式中：

$q_{\text{浅}}$  - 作用在支护结构上的均布荷载；

$\gamma$  - 围岩容重， $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$ ；

$H$  - 隧道埋深， $H = 25 \text{ m}$ ；

$B$  - 隧道宽度（衬砌净宽）， $B = 15.68 \text{ m}$ ；

$\lambda$  - 侧压力系数。

$$\lambda = \frac{\tan \beta - \tan \varphi_c}{\tan \beta \left[1 + \tan \beta (\tan \varphi_c - \tan \theta) + \tan \varphi_c \tan \theta\right]} \quad (4-4)$$

$$\begin{aligned} \tan \beta &= \tan \varphi_c + \sqrt{\frac{(1 + \tan^2 \varphi_c) \cdot \tan \varphi_c}{\tan \varphi_c - \tan \theta}} \\ &= \tan 40^\circ + \sqrt{\frac{(1 + \tan^2 40^\circ) \cdot \tan 40^\circ}{\tan 40^\circ - \tan 24^\circ}} \\ &= 2.7445 \end{aligned}$$

将  $\tan \beta = 2.7445$  代入式 3-4，得：

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{2.7445 - \tan 40^\circ}{2.7445 \left[1 + 2.7445 (\tan 40^\circ - \tan 24^\circ) + \tan 40^\circ \tan 24^\circ\right]} \\ &= 0.283 \end{aligned}$$

将  $\lambda = 0.283$  代入式 3-3，得：

$$q_{\text{浅}} = 20 \times 25 \times \left(1 - \frac{25}{15.68} \times 0.283 \times \tan 24^\circ\right) = 399.55 \text{ kPa} = 0.3996 \text{ MPa}$$

$c$ 、 $\varphi$  值:

$$\varphi_1 = \varphi_c = 40^\circ$$

$$c_1 = c + \frac{\tau_a A_s}{ei} = 400 + \frac{312 \times 10^3 \times 4.909 \times 10^{-4}}{0.7 \times 0.75} = 0.692 \text{MPa}$$

$p_i$ 、 $p_a$ 、 $Q'$  及  $u_{r_0}^a$

对于软弱破碎岩体中的隧洞，可假设其为一均质岩体的圆形隧洞。隧洞周边设有锚杆，无论是端头锚固型锚杆，还是全长粘结型锚杆，其都能通过承受拉力来限制围岩径向位移，改善围岩应力状态，

并通过锚杆承受剪力，提高锚固区围岩的  $c$ 、 $\varphi$  值，达到加固和稳定围岩的作用，如图 3-1 所示

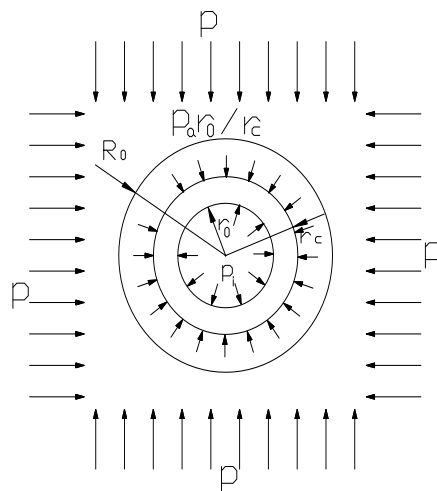


图 4-1 锚杆产生的附加抗力计算简图

根据岩层性质及施工现场条件，可采用全长粘结型锚杆（普通水泥砂浆锚杆），它通过砂浆对锚杆的剪切传递而使锚杆受拉。在一般岩层条件下，可认为锚杆和围岩发生共同位移，而不计锚杆与围岩间的相对位移，锚杆轴力沿全长不是均等的。如图 3-2 所示：

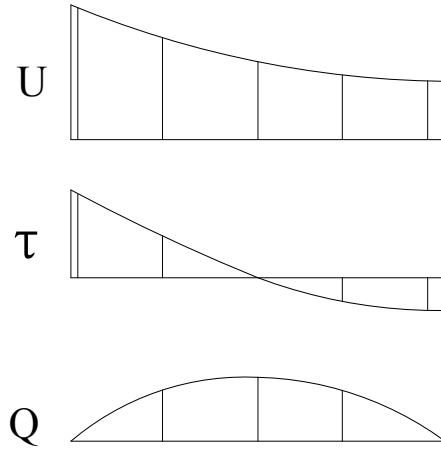


图 4-2 锚杆内力随位移分布图

由图可见，锚杆中存在一中性点，该点剪应力为零，两端锚杆受有不同方向的剪力。中性点上锚杆拉应力最大，在锚杆两端点为零。

由于锚杆是集中荷载，其围岩变位实际上是不均匀的，在加锚杆的洞壁处位移量最小，如果锚杆设有托板，则锚端还会有局部承压变形，因此在计算锚杆拉力时应乘以一个小于 1 的安全系数，即：

$$Q = K \frac{(u' - u'') E_a A_s}{r_c - r_0} \quad (4-5)$$

其中， $K$  与岩质和锚杆间距有关，岩质好时可取 1，岩质差时取  $\frac{4}{5} \sim \frac{1}{2}$  则取  $K = \frac{2}{3}$ 。

考虑锚杆上任意点的位移为：

$$u_r^a = \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) \frac{1}{r} \quad (4-6)$$

当  $r_0 \leq r \leq \rho$ （中性点半径）时，锚杆轴力  $Q_1$  为：

$$\begin{aligned} Q_1 &= -\int \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) E_a A_s \left( \frac{d^2 \frac{1}{r}}{d^2 r} \right) dr + C \\ &= -\left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) E_a A_s \left( \frac{1}{r^2} \right) + C \end{aligned} \quad (4-7)$$

当  $r = r_0$  时， $Q = 0$ 。所以

$$C = \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) E_a A_s \frac{1}{r_0}$$

$$Q_1 = - \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) E_a A_s \left( \frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r^2} \right) \quad (4-8)$$

当  $\rho \leq r \leq r_0$  时, 其轴力  $Q_2$  为:

$$Q_2 = \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) E_a A_s \left( \frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r^2} \right) \quad (4-9)$$

当  $r = \rho$  时,  $Q_1 = Q_2$ , 即:

$$\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{\rho^2} = \frac{1}{\rho^2} - \frac{1}{r_c^2}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{2r_0^2 r_c^2}{r_0^2 + r_c^2}} \quad (4-10)$$

$\rho$  为锚杆最大轴力处的半径, 此处剪力为零, 由此算得锚杆最大轴力

$$Q_{\max} = K \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) E_a A_s \left( \frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{\rho^2} \right)$$

$$= K \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) E_a A_s \left( \frac{1}{\rho^2} - \frac{1}{r_c^2} \right)$$

$$= \frac{K}{2} \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) E_a A_s \left( \frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r^2} \right) \quad (4-11)$$

为使计算简便, 可用  $Q_{\max}$  或者点锚式锚杆等效的轴力  $Q'$  来代替  $Q$ , 由此可将粘接式锚杆按

点锚式锚杆进行计算。  $Q'$  按上述两种锚杆轴力图的面积等效求得:

$$Q'(r_c - r_0) = \int_{r_0}^{\rho} Q_1 dr + \int_{\rho}^{r_c} Q_2 dr$$

由此得：

$$Q' = K \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) \frac{E_a A_s}{r_c - r_0} \left( \frac{\rho - r_c}{r_c^2} + \frac{\rho - r_0}{r_0^2} + \frac{2}{\rho} - \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_c} \right) \quad (4-12)$$

$$\begin{aligned} \frac{M}{4G} &= \frac{3}{2E} (q \sin \varphi_1 + c_1 \cos \varphi_1) \\ &= \frac{3}{2 \times 1.5 \times 10^3} (1.5 \times \sin 40^\circ + 0.692 \times \cos 40^\circ) \\ &= 1.5 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$R_0^a = r_0 \left[ \frac{(P + c \operatorname{ctg} \varphi_1)(1 - \sin \varphi_1)}{p_i + p_a + c_1 \operatorname{ctg} \varphi_1} \right] \quad (4-13)$$

$$\begin{aligned} p_i &= K_c (u_{r_0}^a - u_0) = K_c \left[ \frac{M(R_0^a)^2}{4Gr_0} - u_0 \right] \\ &= 60.68 \left[ \frac{1.5 \times 10^{-3} (R_0^a)^2}{6.73} - 0.1 \right] \\ &= 6.68 \times 10^7 [2.22 \times 10^{-4} (R_0^a)^2 - 0.1] \end{aligned} \quad (4-14)$$

$$\begin{aligned} p_a &= \frac{Q'}{e \cdot i} \\ &= \frac{0.23 \times [1.5 \times 10^{-3} (R_0^a)^2 - 0.5384]}{0.7 \times 0.75} \\ &= 0.44 [1.5 \times 10^{-3} (R_0^a)^2 - 0.5384] \end{aligned} \quad (4-15)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{\frac{2r_0^2 r_c^2}{r_0^2 + r_c^2}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 6.73^2 \times 11.23^2}{6.73^2 + 11.23^2}} \\ &= \sqrt{\frac{1142.03749}{171.4058}} \\ &= 8.16 \text{m} \end{aligned}$$

由公式 (4-12) 求等效轴力：

$$\begin{aligned}
Q' &= K \left( \frac{M(R_0^a)^2}{4G} - r_0 u_0^a \right) \frac{E_a A_s}{r_c - r_0} \left( \frac{\rho - r_c}{r_c^2} + \frac{\rho - r_0}{r_o^2} + \frac{2}{\rho} - \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_c} \right) \\
&= \frac{2}{3} [1.5 \times 10^{-3} (R_0^a)^2 - 6.73 \times 0.08] \frac{2.1 \times 10^5 \times 4.909 \times 10^{-4}}{11.23 - 6.7} \\
&\quad \left( \frac{8.16 - 11.23}{11.23^2} + \frac{8.16 - 6.73}{6.73^2} + \frac{2}{8.16} - \frac{1}{6.73} - \frac{1}{11.23} \right) \\
&= 0.23 \times [1.5 \times 10^{-3} (R_0^a)^2 - 0.5384]
\end{aligned}$$

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+u_c)} = \frac{2.55 \times 10^4}{2(1+0.35)} = 0.944 \times 10^4 \text{ Mpa} \quad (4-16)$$

$$\begin{aligned}
K_c &= \frac{2G_c(r_0^2 - r_i^2)}{r_0[(1-2u_c)r_0^2 + 2r_i^2]} \\
&= \frac{2 \times 0.852 \times (6.73^2 - 6.43^2)}{6.73[(1-2 \times 0.35)6.73^2 + 11.23^2]} \\
&= \frac{1.704 \times 10^4 \times 3.348}{6.73 \times (13.588 + 126.113)} \\
&= 60.68 \text{ kg/m}^3
\end{aligned} \quad (4-17)$$

由公式 (4-14) 得:

$$\begin{aligned}
p_i &= K_c (u_{r_0}^a - u_0) = K_c \left[ \frac{M(R_0^a)^2}{4Gr_0} - u_0 \right] \\
&= 60.68 \left[ \frac{1.5 \times 10^{-3} (R_0^a)^2}{6.73} - 0.1 \right] \\
&= 6.68 \times 10^7 [2.22 \times 10^{-4} (R_0^a)^2 - 0.1]
\end{aligned}$$

由公式 (4-15) 得:

$$\begin{aligned}
p_a &= \frac{Q'}{e \cdot i} \\
&= \frac{0.23 \times [1.5 \times 10^{-3} (R_0^a)^2 - 0.5384]}{0.7 \times 0.75} \\
&= 0.44 [1.5 \times 10^{-3} (R_0^a)^2 - 0.5384]
\end{aligned}$$

式中:

e-锚杆的横向间距;

i-锚杆的纵向间距。

将公式 (4-14)、(4-15) 代入公式 (4-13)，求解松动区的半径：

$$R_0^a = r_0 \left[ \frac{(P + c \operatorname{ctg} \varphi_1)(1 - \sin \varphi_1)}{p_i + p_a + c_1 \operatorname{ctg} \varphi_1} \right]$$

=

利用由此得到的  $R_0^a$  可得：

$$P_a = 0.0154 \text{MPa}, P_i = 0.187 \text{MPa}, Q' = 18.3 \text{MN}$$

### 锚杆的设计与计算

为使锚杆充分发挥作用，应使锚杆应力  $\sigma$  尽量接近钢材的抗拉强度  $\sigma_p$ ，并用一定的安全度，锚杆的长度要大于松动区的厚度，即要求锚杆的长度  $l_0 \geq 12.45 - 8.8 = 3.65 \text{m}$ ，根据《公路隧道设计规范》（JTG-2004）三车道公路隧道锚杆长度为  $3.5 \sim 5 \text{m}$ ，所以取锚杆的长度  $l_0 = 4.5 \text{m}$ 。则有：

$$K_1 = \frac{\sigma_p A_s}{Q} = \frac{4.91 \times 10^{-4} \times 491}{18.3} = 1.32$$

锚杆的抗拉安全系数应在  $1 \sim$ ，所以满足要求。

### 喷层的计算与设计

喷层除作为结构要起到承载作用外，还要求向围岩提供足够的反力，以维持围岩的稳定性，为了验证围岩的稳定，需要计算最小的抗力  $P_{i \min}$  以及围岩的稳定性安全系数  $k_2$ ，松动区内滑体的重力  $G$  为：

$$G = \gamma b (R_{\max}^a - r_0) = p_{i \min} b \quad (4-18)$$

而由：

$$R_{\max}^a = r_0 \left[ \frac{(p + c_1 \operatorname{ctg} \varphi_1)(1 - \sin \varphi_1)}{(p_{i \min} + p_a + c_1 \operatorname{ctg} \varphi_1)(1 + \sin \varphi_1)} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi_1}{2 \sin \varphi_1}} \quad (4-19)$$

联立解得：

$$P_{i \min} = \gamma_0 \left( \frac{R_{\max}^0}{r_0} - 1 \right) = 0.056 \text{MPa}$$



则有安全系数  $k_2 = \frac{p_i}{p_{\min}} = \frac{0.187}{0.056} = 3.34$ , 围岩稳定安全系数  $k_2$  在 2 和 4.5 之间。满足要求。

### 验算喷层的厚度 $t$

作为喷层的强度校核, 要求喷层内壁切向应力小于喷层混凝土抗压强度, 按厚壁筒理论有:

$$\sigma_{\theta} = P_i \times \frac{2a^2}{a^2 - 1} \leq R_h = 13.4$$

式中:  $a = \frac{r}{r_i}$ ,  $R_h$  为喷射混凝土的抗压强度,  $r_i$  为喷射混凝土的内壁半径, 由此可算喷层的厚度

$t$ :

$$t = r_i \left[ \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2p_i}{R_h}}} - 1 \right] = 6.43 \times \left[ \frac{1}{1 - \frac{2 \times 0.187}{13.4}} \right] = 23.3(\text{cm})$$

经计算喷射混凝土厚度只需 23.3cm 就可满足要求, 根据《公路隧道设计规 (JTGD70-2004)》所规定的初期支护最少喷射混凝土厚度及查阅相关书籍, 确定初期支护喷射混凝土厚度 30cm。锚杆的布置图如图 4-3 所示。

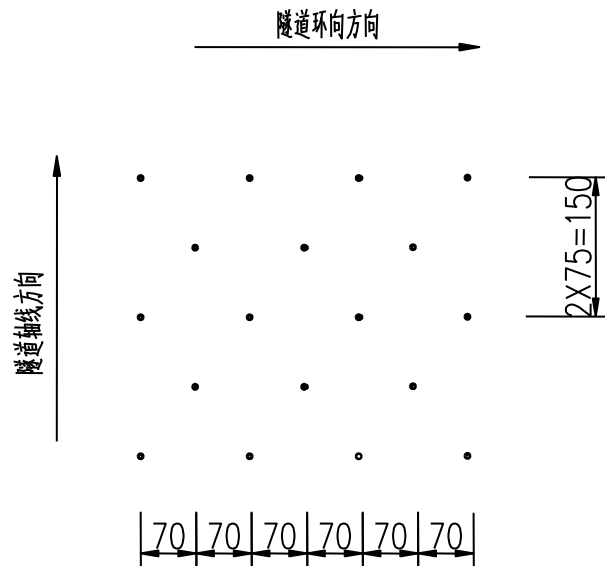


图 4-3 V 级围岩锚杆布置图

必要时, 在初期支护内增设钢拱架支护, 钢拱架选 I25 的工字钢, 间距取为 1m。具体布置见设计图。

## 二次衬砌

根据《公路隧道设计规范》(JTGD70-2004)规定,隧道形式采用曲墙式衬砌,III级,IV级V级围岩,均设置仰拱。

### V级围岩公路隧道设计报告书

通过编程计算、校核,得V级围岩公路隧道设计报告书:

公路分类:汽车专用公路

公路等级:一级公路

地形特征:山岭重丘

是否设检修道或人行道:设检修道或不设人行道

行车道宽度  $W(m)$ :

路缘带宽度  $S(m)$ :

侧向余宽  $C(m)$ :

人行道宽度  $R(m)$ :

检修道宽度  $J(m)$ :

隧道建筑限界净宽  $(m)$ :

隧道衬砌类型:三心圆曲墙拱隧道衬砌

是否设置仰拱:设置仰拱

衬砌横断面厚度是否等厚:等厚

地面到拱顶的距离(埋深:  $m$ ):

围岩类别:II类围岩

压缩状态地层法向弹性抗力系数:

压缩状态地层切向弹性抗力系数:

拉伸状态地层法向弹性抗力系数:

拉伸状态地层切向弹性抗力系数:

### 混凝土参数

混凝土标号	弹性模量 E(kN/m <sup>2</sup> , Mpa)	惯性模量 I(m <sup>4</sup> /m)	截面积 A(m <sup>2</sup> /m)
30 号混凝土			

分布荷载类型：常数

py1 =

py2 =

py3 =

py4 =

px1 =

px2 =

px3 =

px4 =

地层弹簧作用模式：全周弹簧作用模式

增量加载总数：1

增量输入控制参数：0

迭代控制参数：无迭代运算

边墙高度(m):

拱顶衬砌厚度(m):

圆弧 o1 圆心角的一半(°):

圆心 o1, o2 之间的距离(m):

仰拱高度(m):

边墙拱与仰拱的过渡圆弧半径(m):

结点编号及坐标                      轴力(kN)              剪力(kN)              弯矩()

1(    )

2(    )

3(    )

- 4( )
- 5( )
- 6( )
- 7( )
- 8( )
- 9( )
- 10( )
- 11( )
- 12( )
- 13( )
- 14( )
- 15( )
- 16( )
- 17( )
- 18( )
- 19( )
- 20( )
- 21( )
- 22( )
- 23( )
- 24( )
- 25( )
- 26( )
- 27( )
- 28( )
- 29( )
- 30( )
- 31( )
- 32( )
- 33( )
- 34( )
- 35( )

36( )  
37( )  
38( )  
39( )  
40( )  
41( )  
42( )  
43( )  
44( )  
45( )  
46( )  
47( )  
48( )  
49( )  
50( )  
51( )  
52( )  
53( )  
54( )  
55( )  
56( )  
57( )  
58( )  
59( )  
60( )  
61( )  
62( )  
63( )  
64( )

结点编号及坐标

总位移(m)

x 位移

y 位移

1( )

- 2(, )
- 3(, )
- 4(, )
- 5(, )
- 6(, )
- 7(, )
- 8(, )
- 9(, )
- 10(, )
- 11(, )
- 12(, )
- 13(, )
- 14(, )
- 15(, )
- 16(, )
- 17(, )
- 18(, )
- 19(, )
- 20(, )
- 21(, )
- 22(, )
- 23(, )
- 24(, )
- 25(, )
- 26(, )
- 27(, )
- 28(, )
- 29(, )
- 30(, )
- 31(, )
- 32(, )
- 33(, )

- 34( )
- 35( )
- 36( )
- 37( )
- 38( )
- 39( )
- 40( )
- 41( )
- 42( )
- 43( )
- 44( )
- 45( )
- 46( )
- 47( )
- 48( )
- 49( )
- 50( )
- 51( )
- 52( )
- 53( )
- 54( )
- 55( )
- 56( )
- 57( )
- 58( )
- 59( )
- 60( )
- 61( )
- 62( )
- 63( )
- 64( )

结点编号及坐标 受拉钢筋截面计算值(mm<sup>2</sup>) 计算配筋率

1(,)

2(,)

3(,)

4(,)

5(,)

6(,)

7(,)

8(,)

9(,)

10(,)

11(,)

12(,)

13(,)

14(,)

15(,)

16(,)

17(,)

18(,)

19(,)

20(,)

21(,)

22(,)

23(,)

24(,)

25(,)

26(,)

27(,)

28(,)

29(,)

30(,)

31(,)



32(,)

33(,)

34(,)

35(,)

36(,)

37(,)

38(,)

39(,)

40(,)

41(,)

42(,)

43(,)

44(,)

45(,)

46(,)

47(,)

48(,)

49(,)

50(,)

51(,)

52(,)

53(,)

54(,)

55(,)

56(,)

57(,)

58(,)

59(,)

60(,)

61(,)

62(,)

63(,)

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要  
下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/887144014150006056>