

# 软弱围岩隧道开挖支护变形机制研究

赵文加

中铁北京工程局集团城市轨道交通工程有限公司 安徽 合肥 230000

**摘要:** 本文通过本人实际全程参与施工的望谟至安龙高速公路河边隧道为研究对象进行施工分析。分析软弱围岩隧道施工中易产生工程地质问题, 这些相关理论在今后相同或相似地质软弱围岩施工中将会起到一定的参考作用, 也可能在以后软弱围岩隧道施工中具有一定的通用价值。

**关键词:** 软弱围岩; 地质问题; 隧道工程

## 引言

关于软弱围岩的定义, 至今岩石力学界仍未能取得一致的认识。总体上, 软弱围岩整体强度相对较低, 在一定地应力水平(或埋深)条件下, 极易产生较大的施工变形和洞室失稳现象。软弱围岩的工程特征主要有岩石强度低、岩体破碎、对工程扰动反应灵敏和变形持续时间长等特点<sup>[1]</sup>。

本文以本人实际全程参与施工的望谟至安龙高速公路河边隧道为研究对象。河边隧道为分幅式隧道, 隧道左幅长2993.00m; 右幅长3000.00m。最大埋深298.49m。隧道位于册亨县境内, 隧道横穿连绵山体。隧道区为砂岩夹泥岩、砂岩与泥岩互层、泥岩夹砂岩及泥质粉砂岩夹灰岩分布区, 地下水赋存于基岩孔隙、裂隙、断层破碎带内及第四系松散层孔隙内, 构造裂隙水、孔隙水为隧道区主要地下水类型。

## 1 研究区软弱围岩特征

### 1.1 岩相岩性特征

隧址区内软弱围岩为碎屑岩建造, 河湖相沉积, 岩性主要由泥岩、粉砂岩、砂岩等交替组成。软弱围岩岩性组合最为显著的特点是不同力学性质的岩层互层组合, 即砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩等互层组合, 单一的岩性组合基本不存在。按照岩性组合特点, 主要可以归纳为软质泥质岩为主的层状结构及软硬相间的砂泥岩互层结构两种岩体结构类型。

### 1.2 物质成分特征

根据实测数据表明研究区域内随着碎屑岩颗粒变细, 岩石中的黏土矿物呈现逐渐升高的趋势。石英及长石的含量在砂岩、砾岩中高于在泥岩、泥质粉砂岩中。此外, 岩石中方解石含量较高, 且常常以胶结矿物形式存在。这说明研究区内碎屑岩多以钙质胶结为主, 其强度较硅质、铁质胶结的差。石膏、芒硝、钙芒硝、盐矿及其他岩类矿物也常出现在软弱岩层中, 含盐层主要分布于粉砂岩、泥砾岩层。与非含盐地层相比, 含盐地层往往可溶盐成分含量较高, 更易形成溶隙、溶孔, 不仅增强软弱岩层渗透性, 还降低了软弱岩层强度, 对工程均有不利影响。

**作者简介:** 赵文加, 男, 汉, 1985.8.28, 黑龙江绥化, 本科, 中级工程师, 研究方向: 路桥隧道工程。

## 2 研究区软岩物理力学特性研究

### 2.1 研究区软岩物理性质

试验研究成果表明: 研究区软弱围岩天然含水率、孔隙率均较低, 密度在2.6~2.7g/cm<sup>3</sup>, 物理性质随岩性不同而变化, 各项物理性试验统计平均值见表1。

表1 各项物理性试验统计平均值

| 岩性    | 颗粒密度<br>/组        | 块体密度<br>/组数 | 孔隙率<br>/组数 | 自然吸水<br>率/组数 | 饱和吸水<br>率/组数 |
|-------|-------------------|-------------|------------|--------------|--------------|
|       | g/cm <sup>3</sup> |             |            | %            |              |
| 泥岩    | 2.76/16           | 2.57/15     | 7.74/12    | 2.58/12      | 2.42/8       |
| 钙质泥岩  | 2.76/9            | 2.64/9      | 4.61/9     | 1.17/9       | 1.12/7       |
| 泥灰岩   | 2.75/4            | 2.46/4      | 10.39/4    | 2.70/4       | 2.79/4       |
| 粉砂质泥岩 | 2.77/10           | 2.64/10     | 6.18/6     | 1.53/7       | 1.77/7       |
| 泥质粉砂岩 | 2.77/7            | 2.60/12     | 6.22/12    | 1.71/12      | 1.80/12      |

### 2.2 研究区软岩力学性质

根据各试样的破坏形态, 将研究区软弱围岩软岩的破坏形式大致分为三类: (1) 片状剥落型, 一般发生这种破坏形式, 强度都不高, 在初期应力较小的阶段就开始出现零星的片状脱落, 到其破坏时, 有明显的体积膨胀; (2) 剪切破坏型, 软弱围岩泥岩在加载过程中因斜截面抗剪强度达到峰值而出现一个甚至多个剪切面; (3) 压致拉裂型, 这种破坏形式的试样通常抗压强度相对其他软弱围岩软岩较高, 岩体较为完整, 微裂隙少, 粉砂质成分含量较高, 其峰值抗压强度通常在35~50MPa, 部分代表性软岩单轴抗压试验结果见图1。

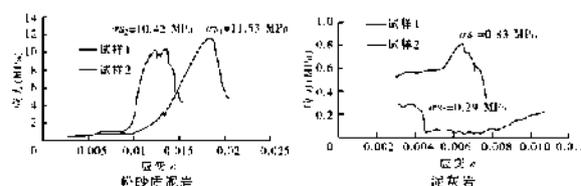


图1 部分代表性软岩单轴抗压试验结果

### 2.3 软弱围岩软岩水理特性分析

软弱围岩的黏土矿物含量高, 且含可溶物质, 黏土矿物具有表面积大、亲水性强、离子交换容量大等特点, 因此水对软岩的强度削弱作用相对较大。对软弱围岩取样进行了室内软化试验, 试验表明, 研究区软弱围岩软岩软化系数在0.34~0.66, 遇水软化效应明显。

### 3 实际施工中软弱围岩软岩隧洞存在的工程地质问题

实际施工中发现现场出现问题主要为软岩变形问题, 软弱围岩隧洞围岩岩体破碎、节理裂隙发育, 强度低, 属软岩; 围岩膨胀性不大, 但崩解性高, 部分区段富含地下水, 主要为基岩裂隙水和孔隙水, 岩体遇水极易软化, 呈现出强烈的崩解性; 围岩的可塑性高, 岩体在高地应力的作用下会发生不可逆的变形: 岩体的流变性显著, 岩石的本构关系时间效应明显<sup>[2]</sup>。软岩大变形一般埋深效应明显, 变形量大, 变形持续时间长, 径向变形特征明显, 主要表现为拱顶下沉、边墙内挤、洞底隆起, 对隧洞结构稳定影响较大。隧洞开挖后应力重分布, 软弱围岩因其岩体强度低围岩受拉或受压易产生塑性区, 导致围岩和支护结构发生变形, 形成塌方等地质灾害。隧洞开挖后, 围岩变形稳定性大致经历三个阶段: 弹性变形阶段, 弹性变形和塑性变形共存阶段、以流变为主, 流变、塑性变形共存, 同时围岩发生损伤、断裂、挤出及膨胀耦合作用阶段。坚硬围岩以弹性变形和塑性变形为主, 而软弱围岩则以塑性变形和流变变形为主。

### 4 软弱围岩隧道的变形特征

软弱围岩隧道的变形特征主要包括以下几点: (1) 变形量大。隧道开挖后, 能够产生显著的塑性变形是软弱围岩最主要的显性特征。实测数据表明, 软弱围岩洞壁位移可达数10cm, 往往表现为初期支护严重破裂, 如喷射混凝土开裂脱落、钢架扭曲, 甚至引起二衬混凝土的开裂。(2) 初期变形速度快。坚硬围岩在隧道开挖后, 变形很快达到稳定状态, 其变形速率很小。而软弱围岩隧道开挖后, 变形速率较大。(3) 变形持续时间长。软弱围岩不仅初期的变形速度快, 而且延续时间长, 具有明显的流变特征。众多研究表明, 软弱围岩隧道开挖后一段很长的时间内, 支护或衬砌上的压力一直在变化, 这可解释为软弱围岩蠕变的结果。(4) 围岩破坏范围大。软弱围岩隧道周边的塑性区扩大, 特别是支护不及时或结构刚度、强度不足时围岩破坏范围更大。(5) 压力增长快。围岩压力随开挖时间而迅速增大, 在很短的时间内, 围岩即与支护结构接触, 产生较大的围岩压力。如果施工方法和支护措施得当, 支护封闭后变形就应得到控制。反之, 即使支护封闭后, 变形还会发展, 以致支护发生破坏。因此, 掌握施工阶段大变形的规律和控制技术, 是软弱围岩隧道施工的关键。(6) 变形破坏形式多样。软弱围岩隧道的变形破坏形式一般表现为喷射混凝土严重开裂、初期支护变形侵限、钢架变形扭曲、隧底上鼓、拱顶掉块坍塌等。

### 5 结束语

(1) 隧道区软岩主要由泥岩、粉砂岩、砂岩等交替组成。其矿物组成主要为石英、长石、方解石和黏土矿物。物理强度较低, 由于具有黏土矿物, 表现出一定的水理性质, 造成隧道区出现围岩常见地质问题: 主要为变形问题和稳定问题。(2) 自然状态下, 竖向应力从上至下部逐渐增大,

且软弱夹层处比周边岩层应力值小, 水平应力总体上是沿着深度数值增大; 竖向位移值向坡内逐渐减小, 粘土层竖向位移最大。开挖状态下, 应力分布主要以竖向应力为主, 由于隧道周边围岩应力呈不对称分布, 在隧道的拱脚出现拉应力集中, 边墙处压应力集中; 隧道竖向位移值呈不对称分布, 左隧道上下部围岩位移较大。(3) 对于软弱围岩严格按照: “管超前、严注浆、弱爆破、短进尺、强支护、早封闭、紧衬砌、勤量测”的原则组织施工, 不能违背<sup>[3]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 丁维良. 软弱围岩隧道初支变形成因及处置防治措施[J]. 设备管理与维修, 2022, (02).
- [2] 林梦果, 左孝庆, 黄波. 公路隧道软弱围岩变形控制技术[J]. 公路, 2021, 66(06).
- [3] 李志强. 隧道软弱围岩塌方的防治技术探讨[J]. 山西建筑. 1009-6825 (2010) 36.0322-02.