

# 浅析帷幕注浆在太阳宫热电厂接入孙河工程中的应用

注浆加固是暗挖工程施工中非常关键的环节，本文主要介绍太阳宫热电厂接入孙河工程暗挖第二标段注浆避水加固设计及实施情况，以期为类似电力暗挖工程提供对比和参考。

李从昀 李志鹏 陈卓/北京电力经济技术研究院



李从昀/工程师

关键词/Keywords

暗挖·  
注浆加固·

## 0 引言

太阳宫热电厂接入孙河工程电缆隧道第二标段起点位于南湖渠路南湖渠西里小区北侧，终点位于北四环望京桥北侧，全长1 215 m，采用浅埋暗挖施工方法，隧道断面净空为2.6 m×2.9 m。

本工程电缆隧道位于现况主干路的人行步道下方，部分隧道为躲避现状管线进入含水层且该段距离现状高层住宅较近。根据施工现场实际情况，部分隧道采用全断面帷幕注浆施工工艺保证建筑及管线安全。

## 1 工程地质及文地质条件

拟建隧道场区沿线位于温榆河Ⅱ级阶地上，地形较为平坦。场地北侧有一条东西向河流，名为北小河。河宽约20 m，河内有污水自西向东流过。场地内各钻孔孔口处地面标高为40.60~36.27 m。

本次勘探最大钻孔深度20 m范围内地层可分为三大类：人工堆积层、新近

表1 各层地下水分布情况表

| 地下水类型 | 地下水位埋深/m    | 分布范围          |
|-------|-------------|---------------|
| 上层滞水  | 1.40~6.20   | 隧道沿线部分钻孔附近有分布 |
| 潜水    | 7.40~10.20  | 隧道全线均有分布      |
| 潜水    | 13.30~17.00 | 隧道全线均有分布      |

沉积层及一般第四纪沉积层。根据土的物理力学性质指标将地层进一步划分如下：

人工堆积层为粘质粉土~粉质粘土填土①层和房渣土①层（①表示地层编号第一大层，①<sub>1</sub>表示第一大层的第一小夹层，以下类推）人工填土层厚度为0.80~7.70 m，层底标高为39.10~31.19 m。

新近沉积层为粘质粉土②层、砂质粉土、粉质粘土②<sub>1</sub>和细砂②<sub>2</sub>，该层分布于场地北侧北小河附近。

一般第四纪沉积层为粘质粉土③层、粉砂③<sub>1</sub>层；粉质粘土③<sub>2</sub>层；粉质粘土④层，粘质粉土④<sub>1</sub>层，细砂④<sub>2</sub>层。粘土~重粉质粘土⑤层，粉质粘土⑤<sub>1</sub>层；本次勘探止于该层。

本工程电缆隧道大部分位于粉质粘土④层，局部隧道底板位于细砂层④<sub>2</sub>层；埋深6~8 m，位于第一层潜水水位中。地下工程要求严禁带水作业，故本工程需考虑对地下水进行处理。临近高层建筑及路口段电缆隧道因不具备降水条件，考虑采取全断面帷幕注浆措施。

## 2 帷幕注浆设计

### 2.1 浆液的选择

根据以往各工程经验及调查，对照

太阳宫热电厂接入孙河电缆隧道工程所处地质条件，综合考虑工期及造价等多方面因素，采用水泥—水玻璃及改性水玻璃双浆液，该浆液适用于渗透系数大于 $10^{-2}\text{cm/s}$ 的中粗砂、粗砂、砂砾石、砂卵石以及断层破碎带注浆堵水工程中，浆液凝胶时间可控，能控制预注浆效果；可注性较好，对于受扰动的粉砂、细砂层有一定的可注性；早期强度较高，注浆后利于开挖施工的进行。

2.2 帷幕厚度计算

由于注浆帷幕固结体主要承受外部静水压力，帷幕厚度可按后壁筒公式，根据第四强度理论计算如下：

$$B_1 = \left( \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma - \sqrt{3}P_w}} - 1 \right) \cdot \frac{D}{2} \tag{1}$$

式中， $B_1$ 为帷幕厚度； $\sigma$ 为围岩固结体允许抗压强度（MPa）； $D$ 为隧道开挖等效直径。

注浆加固模式如图所示。

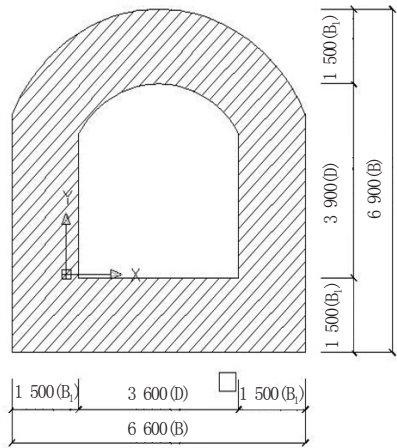


图 注浆加固模式

图中， $B_1$ 为帷幕厚度（mm）； $B$ 为帷幕的最终宽度（mm）； $D$ 为隧道开挖等效直径（mm）

根据以往隧道工程注浆加固堵水经验，本工程按经验公式：

$$B = (1.5 \sim 3) D \tag{2}$$

及

$$B_1 = \frac{B - D}{2} = (0.75 \sim 1.5) D \tag{3}$$

确定帷幕注浆厚度1.5 m(因本工程电缆隧道

所处地层水量和水压较小，且隧道跨度不大，计算时按低限取值)。

2.3 止浆墙厚度计算

止浆墙的厚度计算：

1) 采用抗压计算确定：

$$B = \frac{100P_z}{A\gamma} \tag{4}$$

$P_z$ 为最大注浆压力（MPa）； $A$ 为注浆断面积（ $\text{m}^2$ ）； $\gamma$ 为混凝土的容重( $\text{t/m}^3$ )

根据式（4）计算，本工程止浆墙厚度（本工程注浆压力0.3~0.8MPa）为0.23m

2) 经验数值：根据其他隧道工程帷幕注浆施工经验，止浆墙厚度取值依据表2。

表2 帷幕厚度与止浆墙厚度关系（单位：m）

| 帷幕厚度  | 2       | 3       | 5       | 8       |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| 止浆墙厚度 | 0.5~0.8 | 0.8~1.0 | 1.0~2.0 | 2.0~3.0 |

综合上述两种计算方法，确定本工程止浆墙厚度0.25m。

待止浆墙混凝土强度达到设计强度的75%以后方可进行钻孔注浆施工。

2.4 注浆段落长度计算

注浆段落长度指的是注浆加固的纵向范围<sup>[3]</sup>。该长度受地质条件、钻机能力的影响，也和注浆工艺密切相关。大量的注浆工程实例表明：注浆时，越向前浆液越难扩散，注浆效果越差，即存在“楔形效应”。因此，在工程实践中，注浆段落宜选取合理的范围。

按注浆段落经验公式法：

$$L_{\text{注}} = (3 \sim 5) B_1 \tag{5}$$

根据式（5）计算，本工程注浆段落长度为7.5 m。

根据目前国内外施工机械水平现状、太阳宫地区地质条件及经济方面考虑，本工程注浆段落长度取12 m。

注浆施工时，应遵循“注浆一段、开挖一段、余留一段、段段推进、稳扎稳打”的施工理念，为保证掌子面的稳定和下一循环的止浆，注浆加固完成后，应余留一段作为下一循环的止浆岩盘<sup>[4]</sup>。可按经验公式计算注浆完成后开挖段落

长度及余留段落长度:

$$L_{\text{开}} = (0.7 - 0.8) L_{\text{注}} \quad (6)$$

$$L_{\text{余}} = (0.2 - 0.3) L_{\text{注}} \quad (7)$$

本工程取  $L_{\text{开}}=9.6\text{ m}$ 、 $L_{\text{余}}=2.4\text{ m}$

值得特别注意的是:在注浆完成后开挖过程中,必须采取短台阶法或CRD工法,开挖进尺每循环不得超过1 m,以尽快闭合。同时,在开挖过程中,必须每循环对开挖掌子面进行观察,当发现存在局部注浆效果不好(有渗流水或掉块、浆液充填极不均匀)时,不必到达设计的开挖段落长度,应及时封闭掌子面,进行下一循环帷幕注浆。太阳宫热电厂接入孙河工程二标段电缆隧道注浆后开挖采用短台阶法,并做到尽快封闭,保证安全。

2.5 扩散半径计算

注浆扩散半径指的是浆液能符合设计要求的扩散距离,而不是指浆液在地层中扩散的最远距离。

化学注浆材料扩散半径计算公式:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3Khrt}{\beta n}} + r \quad (8)$$

式中,  $R$ 为浆液的渗透能力 (cm);  $K$ 为地层的渗透系数 (cm/s);  $h$ 为注浆压力;  $r$ 为注浆孔半径;  $t$ 为注浆时间 (s);  $\beta$ 为浆液黏度预水的黏度的壁纸;  $n$ 为地层空隙率。

扩散半径的选取应根据工程经验取值:一般情况下中细砂层、粉质粘性土中取0.5~0.8 m;中粗砂、砂卵石层中取0.8~1.2 m;断层破碎带取1.5~2 m。

结合工程地质情况,本工程取浆液扩散半径0.8 m。

2.6 注浆速度的控制

根据实际工程经验,对于粉质粘土中注浆,注浆速度宜取20~40 L/min;对于砂砾石层等空隙较大的地层注浆,注浆速度宜取40~60 L/min;对于断层破碎带注浆,注浆速度宜取60~120 L/min。本工程注浆速度取35 L/min。

3 结束语

在进行全断面帷幕注浆时,隧道周围一定范围内会形成一定厚度的固结体,该固结体具有较

高的强度和良好的止水效果。

在施工中该技术体现出如下优势:

- (1)不占用地表空间,且不影响交通及地面设施的正常运行。
- (2)TXU型钻机机械轻小,施工灵活,能适应隧道施工的窄小环境;
- (3)浆液切换灵活,能根据不同地层条件随时更换浆液类型,可实现复合式注浆,适应各种复杂地层。
- (4)浆液可完全混合,后退式注浆可确保浆液均匀地注入土层中,在特殊地段(如渗漏水严重地段)还可采用前进式注浆,连续可靠。
- (5)加固体强度较高,密实度好,具有良好的止水效果。

在施工中该技术存在如下缺点:

- (1)注浆过程中,隧道不能同步开挖,工期相对增加。
- (2)该工艺相对降水造价大幅度增加。

太阳宫热电厂接入孙河工程第二标段电缆隧道初衬已贯通,施工过程中按照上述各项注浆参数对隧道周围土体进行加固,取得了良好的加固堵水作用。但在设计过程中也需相应考虑工期及资金增加的问题,多方面考虑对地下水的处理问题。

参考文献

[1] 郝哲,王来贵,刘斌.岩体注浆理论与应用.北京:地质出版社,2006.

[2] 黄德发,王宗敏,杨彬.地层注浆堵水与加固施工技术[M].北京:中国矿业大学出版社,2003.

[3] 朱海涛.齐岳山隧道衬砌水压力特征与岩溶处治技术研究[D].北京:北京交通大学,2010.

[4] 杨兆仁.袖阀管注浆加固地层原理浅析[J].科技信息,2011,(8):361-363.

作者简介

李从昀(1981-),女,硕士研究生,高级工程师,主要研究输变电工程岩土工程勘察、岩土工程设计。

(收稿日期:2015-12-10) **EA**

(编辑:朱历)