

文章编号: 1674—8247(2024)02—0017—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.02.003

## 邻近既有高速铁路深基坑降水问题探讨

唐鸥玲<sup>1</sup> 陈明浩<sup>1</sup> 袁明<sup>2</sup> 丁文富<sup>1</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 成贵铁路有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:** 针对既有高速铁路附近深基坑降水问题, 以某高速铁路盾构井为研究对象, 开展现场水文试验以分层获取岩土层渗透系数, 探讨渗透系数对基坑降水浸润线的影响, 并采用不同方法预测基坑涌水量。首先介绍了深基坑降水设计所需水文地质资料来源, 然后绘制既有高速铁路桥墩的水文地质断面图, 以检算基坑降水对既有高速铁路的影响是否符合规定限值, 为设计合理的降排水措施提供依据。本文的研究成果可为类似工程提供参考。

**关键词:** 高速铁路; 桩基; 深基坑; 降水; 水文试验

**中图分类号:** TU46<sup>+</sup>3

**文献标志码:** A

## Discussion on Dewatering for Deep Foundation Pit Adjacent to Existing High-speed Railway

TANG Ouling<sup>1</sup> CHEN Minghao<sup>1</sup> YUAN Ming<sup>2</sup> DING Wenfu<sup>1</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Chengdu-Guiyang Railway Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Taking a shield well adjacent to a particular high-speed railway line as an example for case study, this paper aims at addressing the challenges of dewatering deep foundation pits adjacent to existing high-speed railway. For this purpose, hydrological testing was performed in the field to determine the permeability coefficient of soil layers in a stratified fashion, and a discussion was made on how the permeability coefficient influences the seepage line within a foundation pit during dewatering, and predict the water inflow into the pit by employing different methods. The paper started by outlining the origins of hydrogeological information essential for devising dewatering strategies for deep foundation pit. It then proceeded to the creation of hydrogeological cross-sectional diagrams for the existing high-speed railway piers, to evaluate the impact of foundation pit dewatering on the existing high-speed railway structure, to determine if they are within prescribed tolerances. The findings provide a foundation for the formulation of effective and appropriate dewatering and drainage solutions. This paper examined the challenges of dewatering in foundation pits of a real project, and the results provide insights that may be applicable as guidance for similar projects.

**Key words:** high-speed railway; pile foundation; deep foundation pit; dewatering; hydrological testing

随着城市的发展, 位于城区的既有高速铁路附近 不可避免会新建工程, 而高速铁路桥梁桩基对沉降的

收稿日期: 2023-05-12

作者简介: 唐鸥玲(1990-), 女, 工程师。

基金项目: 中铁二院工程集团有限责任公司科技研究开发计划课题(KDNQ202008)

引文格式: 唐鸥玲, 陈明浩, 袁明, 等. 邻近既有高速铁路深基坑降水问题探讨[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(2): 17-21.

TANG Ouling, CHEN Minghao, YUAN Ming, et al. Discussion on Dewatering for Deep Foundation Pit Adjacent to Existing High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(2): 17-21.

要求十分严格。为确保既有工程的运营安全,研究新建工程基坑降水对既有高速铁路的影响十分必要。

近年来,基坑开挖引起既有建筑物沉降的研究颇为丰富,基坑降水引起既有桩基沉降的研究也屡见不鲜。胡军<sup>[1]</sup>运用有限元数值模拟分析既有高速铁路桩基受深基坑开挖影响的规律;陈学根<sup>[2]</sup>研究了基坑降水引起地下水位的变化规律,并建立桩基沉降的地下水位简化计算方法;刘御刚<sup>[3]</sup>建立了一种适用于抽降水工况下单桩沉降量计算的理论方法,并对抽降水情况下高速铁路桥墩桩基进行数值模拟;李宁<sup>[4]</sup>讨论了深基坑的支护、降水施工对邻近高速铁路桥墩变形的影响;郑灿政<sup>[5]</sup>研究了不同工况下基坑降水对邻近高速铁路桥梁桩基的影响规律,提出降水引起桩基变形的评估方法;李琳<sup>[6]</sup>分析了基坑降水引起的不同地层应力变化及周围地面沉降的规律。然而,学者们大多基于已知场地水文地质资料开展研究,而对深基坑降水设计所需水文地质资料来源的研究较为显见。

某高速铁路城区段落以隧道形式敷设,拟采用盾构法施工,盾构井与既有高速铁路特大桥桥墩的最小距离约94 m,其长宽均为28 m,基坑深度约42.5 m。由于拟建盾构井深度较大且距离既有高速铁路较近,盾构井施工降水可能对既有高速铁路特大桥桥梁桩基产生影响。研究新建工程基坑降水对周围岩土体的影响,首先需确定岩土体的渗透系数。本文开展现场水文试验,分层获取岩土体渗透系数,并计算出基坑降水浸润线和基坑涌水量,结合场地地质条件绘制出降水影响范围内既有桥墩的水文地质断面,研究成果可为深基坑降水设计提供水文地质资料。

## 1 场地地质条件

### 1.1 工程地质条件

场地局部分布有第四系全新统人工填土( $Q_4^{ml}$ ),其下为全新统冲积层( $Q_4^{al}$ )粉质黏土,第四系上更新统风积层( $Q_3^{col}$ )黏土,偶见冰水沉积、冲积层( $Q_3^{gl+al}$ )粗圆砾土;下伏白垩系上统灌口组( $K_{2g}$ )泥岩。

### 1.2 水文地质条件

场地附近地表无自然水系,地下水为孔隙潜水和基岩裂隙水,孔隙潜水赋存于黏性土层的饱气带中,涌水量小,大气降水为其主要补给源;场地下伏白垩系泥岩,基岩裂隙较发育,地下水的流动,将泥岩中所含石膏溶蚀,并顺溶蚀孔或裂隙形成网络状的风化带溶蚀孔和溶隙,为地下水的补给、储集、径流创造了良好的通道和空间,形成风化带含水层,该含水层地下水富集规律性较差,在一定条件下,局部可形成富水

块段。

场地为Ⅱ级阶地,地下水具有水位埋藏浅、变幅小等特点。丰水期一般出现在7—9月,枯水期多为1—3月。分别于9月、10月及12月对盾构井开展了勘探作业,期间测得地下水位埋深0.5~3 m,稳定水位高程501.7~504.0 m;既有高速铁路特大桥分别于4月和12月进行了勘探作业,期间测得地下水位埋深1~3.5 m,稳定水位高程500.0~505.6 m。此外,根据环境监测总站多年的观测资料,地下水位的年变化幅度多在1~3 m之间,由此可见场地地下水位较稳定。

## 2 水文地质参数

### 2.1 计算降水浸润线

基坑降水引起周边地下水位呈漏斗状下降,距离基坑不同位置因基坑降水引起的地下水位下降值不同。为评估既有高速桥梁桩基因基坑降水引起的沉降量和沉降差,需要绘制出基坑降水浸润线以便确定不同桥墩的地下水位下降值。本文采用式(1)计算降水浸润线<sup>[7-8]</sup>:

$$H_r = \sqrt{h_w^2 + \frac{(2H - S)S \ln \frac{r_0 + r_i}{r_i}}{\ln \frac{R + r_0}{r_0}}} \quad (1)$$

式中: $H_r$ ——计算点水头值(m);

$H$ ——含水层厚度(m);

$S$ ——水位下降值(m);

$R$ ——影响半径(m);

$r_0$ ——基坑等效半径(m);

$r_i$ ——计算点与降水井距离(m);

$h_w$ ——降水井稳定水头值(m)。

由式(1)可知,在基坑降水工况已知的前提下,基坑降水浸润线仅受影响半径 $R$ 影响,而目前我国常用的影响半径计算经验公式为 $R = 2S \sqrt{HK}$ ,可见渗透系数为基坑降水浸润线的影响因素,以下讨论渗透系数对浸润线的影响。

不同渗透系数下盾构井基坑降水引起的降水浸润曲线如图1所示。由图1可知,渗透系数取0.045 m/d、0.066 m/d、0.095 m/d、0.2 m/d和0.4 m/d时,影响半径 $R$ 分别为121 m、147 m、176 m、256 m和362 m,距离基坑降水井100 m处地下水位分别下降1.9 m、3.6 m、5.1 m、7.8 m和9.9 m。

综上所述,渗透系数对基坑降水浸润线影响较大,因此,合理的渗透系数取值对预测基坑降水影响

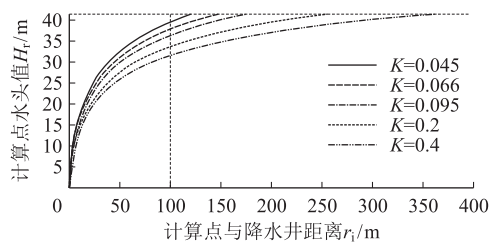


图 1 渗透系数与降水浸润线的关系图

半径及周边地下水位变化规律尤为重要。仅靠经验参数进行地下水控制的设计往往不能满足要求,本文开展了现场水文试验以确定各地层水文地质参数,选取的渗透系数更接近工程实际情况。

2.2 确定渗透系数

应根据水文地质条件、工程目的及场地条件,选用抽水、压水、注水或提水试验等水文地质试验方法。本文将水文试验孔布置在盾构井结构轮廓内,首先将水文孔深度实施在黏性土与泥岩层交界面,采用提水试验方法测定黏性土层的渗透系数。然后将水文孔深度实施在盾构井基底以下 8 m 处,并对上覆黏性土层采取隔水措施,选用抽水试验方法测定泥岩层的渗透系数。

2.2.1 提水试验

黏性土层采用定流量法提水试验,每隔 30 min 测定一次水位和水量。根据提水试验结果,采用 TB 10049 - 2014《铁路工程水文地质勘察规范》<sup>[9]</sup>中公式计算黏性土层渗透系数:

$$K = \frac{Q}{4\pi H(S_2 - S_1)} \ln \frac{t_2}{t_1} \tag{2}$$

式中:  $K$ ——含水层渗透系数(m/d);  
 $Q$ ——出水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );  
 $H$ ——自然状况下含水层厚度(m);  
 $S_i$ ——在  $t_i$  时的水位下降值(m);  
 $t_i$ ——提水延续时间(min)。

提水试验渗透系数计算结果如表 1 所示。

表 1 黏土层渗透系数计算表

降深	出水量 $Q/(\text{m}^3/\text{d})$	含水层 厚度 $H/\text{m}$	提水延 续时间 $t_2/\text{min}$	提水延 续时间 $t_1/\text{min}$	水位下 降值 $S_2/\text{m}$	水位下 降值 $S_1/\text{m}$	渗透系 数/ (m/d)
第一次	0.98	13.3	120	30	10.5	0.5	0.000 81
第二次	1.41	13.3	90	30	10.3	0.8	0.000 98
第三次	1.96	13.3	60	30	9.8	1.3	0.000 96

通过计算得出盾构井范围黏性土层渗透系数的平均值为 0.000 9 m/d。

2.2.2 抽水试验

对泥岩层进行三次降深稳定流抽水试验,最大降

深降至盾构井基底以下 1 m。根据抽水试验结果,采用以下两种方法计算渗透系数:

方法一,根据 TB 10049 - 2014《铁路工程水文地质勘察规范》中公式计算渗透系数:

$$K = \frac{Q}{\pi(H^2 - h^2)} \ln \frac{R}{r} \tag{3}$$

方法二,根据 SL 320 - 2005《水利水电工程钻孔抽水试验规程》附录 B 中公式计算渗透系数:

$$K = \frac{0.732R}{(2H - S)S} \lg \frac{R}{r} \tag{4}$$

式中:  $H$ ——含水层在抽水试验时厚度(m);

$R$ ——影响半径(m);

$r$ ——抽水孔半径(m)。

抽水试验渗透系数计算结果如表 2 所示。

表 2 泥岩层渗透系数计算表

降深	出水量 $Q/(\text{m}^3/\text{d})$	自然状 态下含 水层厚 度 $H/\text{m}$	抽水试 验时含 水层厚 度 $h/\text{m}$	水位下 降值 $S/\text{m}$	影响 半径 $R/\text{m}$	抽水 孔半 径 $r/\text{m}$	渗透系数 $K$ /(m/d)	
							方法一	方法二
第一次	72.5	38.5	7	31.5	139	0.054	0.126 4	0.126 3
第二次	61.5	38.5	14.9	23.6	100	0.054	0.116 9	0.116 7
第三次	32.5	38.4	28.5	9.9	39	0.054	0.102 8	0.102 7

由此可见,两种方法计算结果基本一致,通过计算得出泥岩层渗透系数的平均值为 0.115 m/d。

场地岩土层的渗透性参数根据 TB 10049 - 2014《铁路工程水文地质勘察规范》、GB 50307 - 2012《城市轨道交通岩土工程勘察规范》<sup>[10]</sup>、《工程地质手册》(第五版),结合室内试验及现场水文试验成果,综合地区经验确定各地层渗透系数  $K$  值,对黏性土层渗透系数取 0.000 9 m/d,泥岩层渗透系数取 0.115 m/d。场地主要岩土层为黏性土和全~弱风化泥岩层,根据场地岩土层分布情况,计算出盾构井等效渗透系数值为 0.066 m/d。

2.3 预测基坑涌水量

盾构井基坑开挖揭示的主要岩土体为具微透水性的黏性土层和具弱透水性的泥岩层。采用以下两种方法预测基坑涌水量。

方法一,根据 JGJ 120 - 2012《建筑基坑支护技术规程》附录 E 中潜水完整井公式预测基坑涌水量,计算公式为:

$$Q = \frac{\pi K(2H - S)S}{\ln \frac{R + r_0}{r_0}} \tag{5}$$

方法二,根据《基坑工程手册》(2009 第二版)中公式预测基坑涌水量,计算公式为:



$$Q=\frac{1.366K(2H-S)S}{\log\frac{R+r}{r}}\tag{6}$$

式中： $Q$ ——基坑涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )；  
 $K$ ——含水层渗透系数,取等效渗透系数( $\text{m}/\text{d}$ )；  
 $S$ ——基坑地下水位的的设计降深( $\text{m}$ )；  
 $R$ ——降水影响半径,取 $R=2S\sqrt{HK}$ ( $\text{m}$ )；  
 $r_0$ ——基坑等效半径,可按 $r_0=\sqrt{A/\pi}$ 计算( $\text{m}$ )；  
 $r$ ——假想半径, $r=1.18(l+b)/4$ ,其中 $l$ 为基坑长度, $b$ 为基坑宽度( $\text{m}$ )；  
 $A$ ——降水井群连线所围面积( $\text{m}^2$ )。

采用两种方法预测盾构井基坑涌水量的计算如表3所示。

表3 盾构井基坑涌水量计算表

计算方法	渗透系数K/(m/d)	潜水含水层厚度H/m	设计降深S/m	降水影响半径R/m	面积A/m <sup>2</sup>	基坑等效半径r <sub>0</sub> /m	假想半径r/m	基坑涌水量Q/(m <sup>3</sup> /d)
方法一	0.066	47.5	41.5	147	900	16.9	—	202.6
方法二	0.066	47.5	41.5	147	900	—	16.5	201

通过计算可知,采用两种方法预测的盾构井基坑涌水量结果基本一致,建议盾构井涌水量按203 m<sup>3</sup>/d进行基坑降水设计。

基坑涌水量与施工方法、围护形式、止水方案、地下水边界条件、静止水位高程、含水层厚度等有密切关系,当其中任何一个因素发生改变,预测的涌水量应重新计算。本次涌水量预测按降水井布置于基坑外侧2 m,降水井深入基底以下7 m,降深至基底以下1 m计算。

3 基坑降水对既有高速铁路的影响

基坑降水对桥梁桩基的不利影响一方面是因为措施不当的基坑降水会带走土层中的细颗粒物质,造成砂土流失而引起地面沉降,这类问题主要发生在含砂土的土层,本工程土层中不含细颗粒物质,基坑降水不会引起土层流失问题。另一方面,基坑降水会引起周边岩土体水位的下降,使得岩土体有效应力增加,土体产生沉降,当桩基周围岩土体的沉降值大于桩身沉降时,桩侧岩土体将对桥梁桩基产生向下的负摩阻力<sup>[11]</sup>。

综上所述,盾构井基坑降水影响半径约147 m,可知既有高速铁路特大桥的99号~105号桥墩位于基坑降水影响半径范围内,该段桥梁的基础形式为桩基础。

本文将重点讨论距离盾构井最近的101号~103号桥墩受基坑降水的影响。

分析基坑降水对既有高速铁路桥梁桩基的影响,需要确定基坑降水影响范围、不同桩基处地下水位下降值及桩基所处岩土层。为直观反映上述条件,根据预测的降水浸润线,利用勘察资料,绘制出各既有高速铁路特大桥桥墩的水文地质断面图。经分析得知,101号桥墩原地下水位以下岩土层依次为黏土(厚14.3 m)、粗圆砾土(厚1.5 m)、全风化泥岩(厚0.9 m)、强风化泥岩(厚2.1 m)以及弱风化泥岩,盾构井基坑降水后该桥墩会在黏土层中产生水位下降4 m。102号桥墩原地下水位以下岩土层依次为黏土(厚13.1 m)、全风化泥岩(厚0.6 m)、强风化泥岩(厚8 m)以及弱风化泥岩,盾构井基坑降水后该桥墩会在黏土中产生水位下降3.6 m。103号桥墩原地下水位以下岩土层依次为黏土(厚12.2 m)、全风化泥岩(厚2.5 m)、强风化泥岩(厚3 m)以及弱风化泥岩。盾构井基坑降水后该桥墩会在黏土中产生水位下降2.7 m。103号桥墩水文地质断面如图2所示。

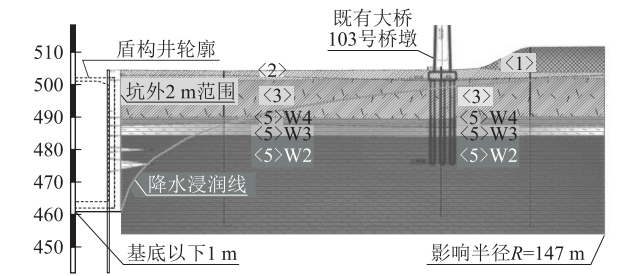


图2 103号桥墩水文地质断面图

盾构井基坑降水对桥梁桩基的影响主要考虑因降水引起土体沉降带来的负摩阻效应和土体沉降范围桩身受力改变带来的弹性变形。根据桥墩水文地质断面,经过检算,不同桥墩该两项指标如表4所示。

表4 不同桥墩的承载力和沉降表

桥梁墩号	水位下降值/m	主力工况				桩基沉降变形/mm	相邻沉降差/mm
		原设计/(KN/根)	富裕/%	降水后/(KN/根)	富裕/%		
101号	4.0	394 3/481 4	22.1	394 3/418 6	6.2	0.14	0
102号	3.6	469 6/529 3	12.7	469 6/478 4	1.9	0.14	-0.08
103号	2.7	576 8/674 2	16.9	576 8/645 6	11.9	0.06	0.01

由此可知,盾构井基坑降水对既有高速铁路特大桥桩基沉降变形最大影响值出现在101号和102号墩,最大相邻沉降差出现在102号和103号墩之间,该两项指标远小于规范限值,因此,既有特大桥桩基

承载力尚有富余且沉降变形满足规范要求。

## 4 结论

通过对新建高速铁路盾构井降水问题的探讨,得到主要结论如下:

(1) 仅靠经验参数进行地下水控制的设计往往不能满足要求,合理的渗透系数取值对预测基坑降水影响范围及基坑降水引起的地下水位变化规律尤为重要。

(2) 开展了水文试验以分层确定岩土层渗透系数,并计算出基坑降水浸润线和基坑涌水量,采用两种方法预测的基坑涌水量结果基本一致。

(3) 根据既有高速铁路桥墩的水文地质断面,计算出盾构井基坑降水对既有高速铁路桥墩产生的影响符合规范要求。

## 参考文献:

- [1] 胡军. 深基坑开挖对邻近既有高铁桩基影响研究[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(6): 12–17, 22.  
HU Jun. Research on the Influence of Excavation of Deep Foundation Pit to Adjacent Existing High-speed Railway Bridge Pile Foundations Stability [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(6): 12–17, 22.
- [2] 陈学根, 周爱兆, 王炳辉, 等. 基坑降水引起坑外建筑桩基均匀沉降的计算方法[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(23): 199–205.  
CHEN Xuegen, ZHOU Aizhao, WANG Binghui, et al. Calculation Method for Uniform Settlement of Pile Foundations Outside Pits Caused by Foundation Pit Dewatering [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(23): 199–205.
- [3] 刘御刚. 抽降水对高速铁路桥梁桩基的影响分析[D]. 长沙: 中南大学, 2014.  
LIU Yugang. Analysis on Influence Imposed by Exploiting Groundwater on Bridges Pile Foundation of High-speed Railway [D]. Changsha: Central South University, 2014.
- [4] 李宁, 丁兆峰, 李井元, 等. 与运营高速铁路并行长大深基坑工程设计[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(6): 56–59.  
LI Ning, DING Zhao Feng, LI Jingyuan, et al. Design of Large Deep Foundation Pit in Parallel with Existing High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(6): 56–59.
- [5] 郑灿政. 深基坑工程降水对既有高铁桥梁桩基的影响研究[D]. 南京: 东南大学, 2016.  
ZHENG Canzheng. Effects of Deep Foundation Pit Dewatering on Existing High-speed Railway Bridge Pile Foundation [D]. Nanjing: Southeast University, 2016.
- [6] 李琳. 工程降水对深基坑性状及周围环境影响的研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.  
LI Lin. Studies of the Dewatering Effect on Deep Excavation and Surroundings in Soft Clay [D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [7] 许锡金, 李东霞. 基坑降水引起地面沉降计算方法研究[J]. 岩土工程技术, 2004, 18(4): 194–198.  
XU Xijin, LI Dongxia. Study on Calculating Method of Ground Subsidence Caused by Pit-dewatering [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2004, 18(4): 194–198.
- [8] 陶书煜. 基坑降水引起的地表沉降及围护结构位移分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.  
TAO Shuyu. The Analysis of Ground Surface Settlement and Building Envelope Displacement Caused by Foundation Pit Dewatering [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.
- [9] TB 10049–2014 铁路工程水文地质勘察规范[S].  
TB 10049–2014 Code for Hydrogeological Investigation of Railway Engineering[S].
- [10] GB 50307–2012 城市轨道交通岩土工程勘察规范[S].  
GB 50307–2012 Code for Geotechnical Investigations of Urban Rail Transit[S].
- [11] 李会锋. 基坑降水开挖对邻近建筑物沉降的影响分析[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2015.  
LI Huifeng. The Influence of Foundation Pit Precipitation and Excavation on Settlement of Adjacent Buildings [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2015.