

# 基于抽水试验的深基坑降水方案优化调整与实施

李福林

(中铁十四局集团大盾构工程有限公司, 江苏 南京 211800)

**摘要:**南京一过江隧道明挖段为超深基坑,有深厚强透水砂层,含水层厚度大、渗透系数大,接受长江水补给,基坑采用悬挂式止水帷幕,涌水量大,在降水井施工过程中,通过洗井试抽发现原降水方案不能满足降水要求,且偏差非常大。为确保基坑安全、顺利施工,现场边施工降水井边开展原位抽水试验,通过对试验数据的分析,并借助三维数值法进行参数反演及降水模拟,及时对开挖深度大的JD1、JD2节段的降水井管径、数量、水泵配置进行了调整。基坑内抽水试验反演的参数远大于原方案参数,实际基坑涌水量高达91000 m<sup>3</sup>/d,是原降水方案预估值42000 m<sup>3</sup>/d的2.2倍,由于及时科学地调整了降水方案,在总井数增加不多的情况下,将坑内水位降至基底以下,保证了基坑的顺利实施,充分说明了抽水试验及方案的优化调整在降水实施过程中的重要性。

**关键词:**强透水地层;深基坑;降水设计;降水井;抽水试验

**中图分类号:**TU46<sup>+</sup>3 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)11-0103-08

## Optimized adjustment and implementation of deep foundation pit dewatering based on pumping test

LI Fulin

(China Railway 14th Bureau Group Shield Engineering Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 211800, China)

**Abstract:** The open-cut section of a river-crossing tunnel in Nanjing is a super deep foundation pit with thick and high water permeability sand layer, where the aquifer is massively thick with large permeability coefficient, and recharged by the Yangtze River. The hanging type water cut-off curtain was used for the foundation pit due to very large water inflow. During the construction of the dewatering well, it was found that the original dewatering scheme cannot meet the requirements for dewatering through well development with high deviation. In order to ensure the safety and smooth construction of the foundation pit, in-situ pumping test was carried out while drilling the dewatering well. Through analysis of the test data, and parameter inversion and dewatering simulation using the three-dimensional numerical method, adjustment was made in time on the diameter, number and pump configuration of the dewatering wells in the JD1 and JD2 sections with large excavation depth. The inverted parameters of the pumping test for the foundation pit were much larger than those of the original scheme. The actual water inflow of the foundation pit was as high as 91000 m<sup>3</sup>/d, which was 2.2 times of the estimated value of 42000 m<sup>3</sup>/d of the original dewatering scheme. With the timely and proper adjustment of the dewatering scheme, the water level in the pit was reduced below the base with little increase in the total number of wells, which ensured the smooth implementation of the foundation pit, fully demonstrating the importance of dynamic adjustment of pumping test and the pumping test scheme in dewatering.

**Key words:** high water permeability formation; deep foundation pit; dewatering design; dewatering well; pumping test

**收稿日期:**2021-06-15; **修回日期:**2021-09-28 **DOI:**10.12143/j.ztgc.2021.11.015

**作者简介:**李福林,男,汉族,1989年生,工程师,主要从事城市轨道交通施工与设计工作,江苏省南京市浦口区顶山街道中铁十四局建宁西路过江通道项目部(210031),291093130@qq.com。

**引用格式:**李福林.基于抽水试验的深基坑降水方案优化调整与实施[J].钻探工程,2021,48(11):103-110.

LI Fulin. Optimized adjustment and implementation of deep foundation pit dewatering based on pumping test[J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):103-110.

### 0 引言

岩土工程事故原因调查分析表明,地下水控制失效引起的岩土工程事故占较大的比例<sup>[1-7]</sup>。基坑降水是通过管井降低地下水位,以满足基坑工程施工的需要,是最常见、最有效、最经济的地下水控制措施之一。目前,工程建设环境越来越复杂,深基坑工程中,降水与止水帷幕组合的地下水控制技术广泛使用,且达到了较好的地下水控制效果<sup>[8-14]</sup>。

现有的文献中,对止水帷幕的阻水绕流作用研究较多,且积累了大量资料,但往往忽视降水方案本身的研究,更是缺乏对实际水文地质条件的分析及施工过程中的动态控制,导致降水失败,从而造成工程事故,影响工程进度、增加工程造价<sup>[5-6]</sup>。

目前,降水方案设计依据的水文地质参数基本是地质勘察报告提供的参数,而勘察报告一般采用室内试验参数或经验值,往往不能很好地代表现场的实际水文地质条件;另外,围护结构施工后,地下水流场发生了改变,原水文地质参数也可能发生改变,无法适用于此时的降水计算,需现场重新进行抽水试验。车灿辉<sup>[15]</sup>为了设计出科学合理、经济可行的降水、止水组合的地下水控制方案,针对复杂水文地质条件,在现场利用三轴搅拌桩施作临时止水帷幕,进行现场原位抽水试验,获取到有止水条件下的水文地质参数,为方案设计提供了可靠的参数和依据。

但大多数工程建设工期、预算都比较紧张,无法在前期进行大量的现场试验研究。因此,本文以南京一过江隧道明挖段深基坑降水工程为依托,针对深厚强透水砂层中悬挂式帷幕下的降水设计与实施

问题,先利用地质勘察资料及临近工程经验参数进行降水方案初步设计;现场止水帷幕(围护结构)施工完后,在降水井施工的同时,进行现场抽水试验,利用抽水试验资料对降水方案的可行性进行分析验证,当发现偏差较大时,及时动态调整降水方案,确保降水满足基坑施工需求,保证工程安全顺利完工。

### 1 工程概况

#### 1.1 工程设计

本过江隧道明挖段基坑全长约 302 m,基坑宽度 48.72~53 m,开挖深度 10.8~26.3 m 不等,分为 9 个节段(JD1~JD9)。基坑距离长江大堤最近约 500 m,位于农田、荒地内,周边为待拆迁的村民小区,周边环境相对较简单,如图 1 所示。



图1 项目位置示意

Fig.1 Schematic diagram of the project location

根据开挖深度,围护结构由浅到深依次采用 SMW 工法桩、地下连续墙等有内支撑的围护结构型式,深度为 25.5~51 m,呈阶梯状变化,为悬挂式止水帷幕,未隔断承压含水层,见图 2。

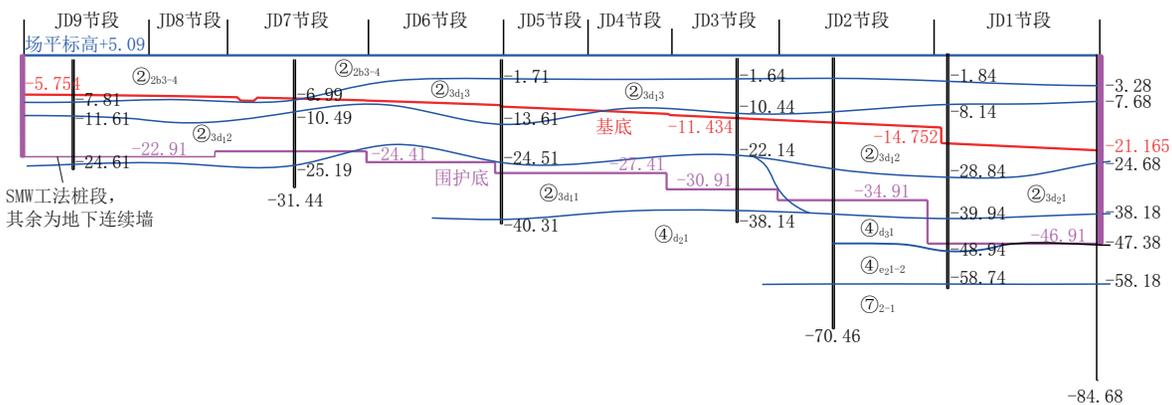


图2 围护结构纵剖面(单位:m)

Fig.2 Longitudinal profile of the enclosure structure

## 1.2 地质及水文地质条件

根据地勘资料,地层自上而下依次为:①<sub>1</sub>杂填土,②<sub>1b2-3</sub>粉质粘土,②<sub>2b3-4</sub>淤泥质粉质粘土夹粉土、粉砂,②<sub>2b4</sub>淤泥质粉质粘土,②<sub>3d13</sub>粉砂,②<sub>3d12</sub>粉砂,②<sub>3d11</sub>粉砂,②<sub>3d21</sub>细砂,④<sub>d11</sub>细砂,④<sub>d21</sub>中砂,④<sub>d31</sub>砾砂,④<sub>e11</sub>圆砾,④<sub>e21</sub>卵石,⑦<sub>1</sub>强风化粉砂质泥岩,⑦<sub>2</sub>层中风化粉砂质泥岩。基坑开挖范围内主要为粉砂、淤泥质粉质粘土夹粉土、粉砂层。

场地地下水主要为赋存在粉砂、细砂、中粗砂、圆砾、卵石层中的承压水,上覆的淤泥质粉质粘土夹粉土粉砂为相对隔水层,厚度5~8 m,局部12 m。承压含水层具有上细下粗的沉积韵律,细、粗粒土渗透性具有一定的差别,故承压水又分为上下2段,上段为②<sub>3d13</sub>—②<sub>3d11</sub>粉砂、②<sub>4d11</sub>细砂、④<sub>d11</sub>粉细砂,渗透系数6.5~25.0 m/d;下段为④<sub>d21</sub>中砂,④<sub>d31</sub>粗砂、砾砂,④<sub>e11</sub>圆砾,④<sub>e21</sub>卵石,渗透系数30~50 m/d。整个承压含水层厚度53~59 m,承压水位标高约+5.0 m。

## 2 降水方案设计

本工程基底已经位于承压含水层中,为防止施工过程中出现基底涌水流砂,确保基底安全,坑内承压水位需要降低至基底以下1 m,最大水位降深约27 m,各节段的安全水位标高及水位降深见表1。

表1 各节段安全水位标高及水位降深

Table 1 Safe water level elevation and drawdown of each section

节段	长度/ m	基坑深度/ m	安全水位 埋深/m	安全水位 标高/m	水位降 深/m
JD1	47	19.84~26.26	27.26	-22.00	27.17
JD2	43	17.89~19.84	20.84	-15.75	20.75
JD3	30	17.35~17.89	18.89	-13.80	18.80
JD4	24	15.17~16.52	17.52	-12.43	17.43
JD5	24	14.19~15.17	16.17	-11.00	16.00
JD6	38	12.52~14.19	15.19	-10.00	15.00
JD7	39	11.52~12.52	16.52	-8.50	13.50
JD8	22	11.16~11.52	12.52	-7.50	12.50
JD9	35	10.84~11.16	12.26	-7.00	12.00

因围护结构对地下水渗流具有绕流阻水作用,传统解析公式无法适用,本次采用数值法进行降水计算分析,借助专业可视化三维地下水流模拟软件

Visual MODFLOW 进行模拟计算。

由于基坑长度较大,考虑整个基坑无法全断面施工,分别将JD1~JD5节段、JD6~JD9节段各作为一个施工段进行降水计算分析,本次仅详细介绍开挖深度较深的JD1~JD5节段的基坑降水。

### 2.1 模型建立

根据已有的地层资料、水文地质条件、相邻工程资料,建立本工程数值模型,模拟区范围约1650 m×1050 m,人为设定为定水头补给边界;剖面上根据水文地质条件,概化为6个模拟层。

地下连续墙采用软件中的 wall 模块进行设置,为不透水边界,见图3。

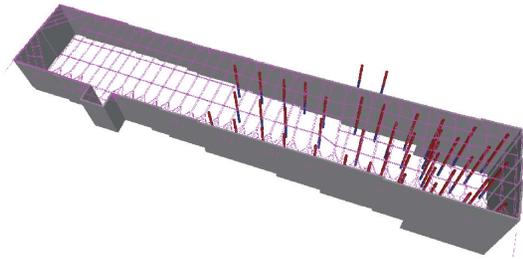


图3 围护结构与降水井立体概化示意

Fig.3 Three dimensional sketch of the enclosure structure and dewatering wells

### 2.2 模型参数

数值模型涉及的水文地质参数主要为渗透系数(水平和垂直方向),其值的大小直接决定概念模型与实际水文地质条件的拟合程度以及基坑涌水量预测的大小。由于现场缺乏针对性的抽水试验,初步降水方案设计时,渗透系数按区域经验参数取值,见表2。

表2 模型各概化层渗透系数取值

Table 2 Permeability coefficient of each generalized layer of the model

模型 层号	地层 编号	地层名称	概化厚 度/m	渗透系数/(m·d <sup>-1</sup> )	
				水平	垂直
1	② <sub>2b3-4</sub>	淤泥质粉质粘土夹粉土	8	0.1	0.1
2	② <sub>3d13</sub>	粉砂	15	8	3
3	② <sub>3d12</sub>	粉砂	10	12	4
4	② <sub>3d11-d21</sub>	粉砂、细砂	16	18	5
5	④ <sub>d31</sub>	砾砂	9	40	15
6	④ <sub>e21-2</sub>	卵石	12	60	20

### 2.3 模型运算结果

通过不断调整模型中的降水井布置,反复模拟计算,当JD1~JD5节段坑内水位降至基底以下时,模型预估总涌水量约42000 m<sup>3</sup>/d,最深处水位降至标高-22 m、埋深27 m,坑外水位降至标高-4.0 m、埋深9 m,模型内共运行27口降水井,根据降水井深浅不同,单井出水量为1000~2000 m<sup>3</sup>/d,降水后等水位线见图4。

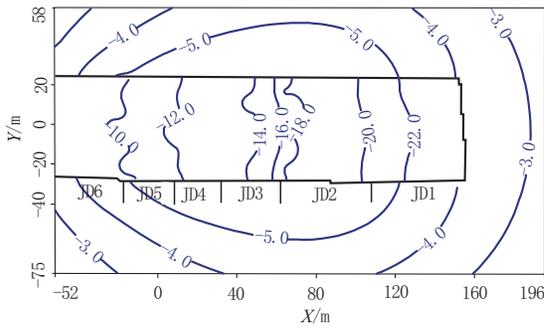


图4 降水后水位标高等值线图

Fig.4 Water level elevation contour map after dewatering

### 2.4 降水井数量设计

根据规范<sup>[16-17]</sup>,除正常运行的降水井外,坑内至少需要布置20%的观测兼备用井,因此JD1~JD5节段基坑内再布置6口观测兼备用井,共布置33口降水井。

同时为了掌握坑内降水过程中坑外水位下降情况,在坑外按间距15 m布置了22口备用兼观测井,必要时可作为坑外应急井使用。

### 2.5 井深及结构

为了发挥地连墙的绕流阻水作用,同时尽可能发挥单井最大出水量,保证足够长度的滤水管,降水井滤管底部距离地连墙底部按约2 m考虑,不超过地连墙,井深31~48 m。基坑开挖范围内基本为砂性地层,为了便于后期封井,滤水管只设置在基底以下,同时考虑疏干效果,滤料回填至初始地下水水位附近,起到引渗作用。井管采用 $\varnothing 273 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的钢管,滤水管为钢质桥式滤管,外包单层60目锦纶滤网,根据规范<sup>[18]</sup>,滤料层厚度宜为75~150 mm,因此孔径为550 mm。详细的降水井结构见图5。

## 3 抽水试验

前期初步降水方案设计时,依据的是周边工程

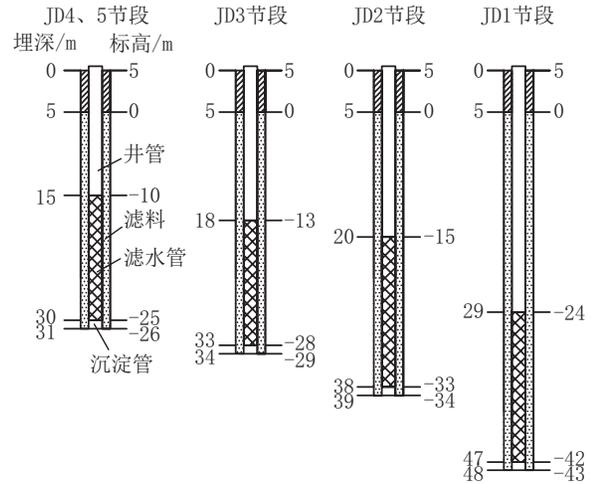


图5 降水井结构

Fig.5 Structure of the dewatering wells

降水资料及相关经验值,而每个基坑的地质及水文地质条件都有一定的差异性,且围护结构对地下水的绕流具有很大的影响,因此,正式进行大面积降水井施工前,应进行现场抽水试验,包括单井试验及群井试验,然后根据试验结果分析方案是否能满足基坑施工要求,必要时对方案进行调整。

### 3.1 单井试验

分别在JD1、JD5节段按原设计各施工3口降水井,进行稳定流试验,1口作为抽水主井、2口作为观测井,现场实测初始水位标高为4.00 m,主井流量100 m<sup>3</sup>/h左右,观测井水位降深1 m左右,具体见表3。将抽水主井流量代入现有数值模型中进行模拟计算,得到的计算水位降深均大于实测水位降深,约为实测值的2倍(见表3)。表明基坑实际涌水量要远大于设计值、含水层实际渗透系数要大于模型选用参数,现有降水设计方案可能无法满足基坑降水要求,有待进一步试验验证。

根据单井试验,JD1、JD5节段降水井单位涌水量分别为2.68、2.33 L/(s·m),坑内水位降至基底后,推断单井最大涌水量可达193、100 m<sup>3</sup>/h。

### 3.2 群井试验

JD1节段基坑开挖深度最大,也是本工程降水难度最大的节段,因此群井抽水试验选择在JD1节段进行。在JD1节段坑内施工6口降水井,利用其中4口进行抽水(JS06、JS08、JS09、JS11)、2口进行坑内水位观测(JS07、JS10);坑外施工3口降水井,进行坑外水位观测(KW03、KW05、KW06)。现场

表3 坑内单井试验实测数据及计算水位降深

Table 3 Measured data and calculated drawdown of single well test in the pit

区域	抽水井号	井深/ m	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	主井水位 降深/m	观测井号	与主井 距离/m	实测水位 降深/m	计算水位 降深/m
JD1	JS12	48	109	11.3	JS15	9.8	1.11	2.41
					JS16	27.8	0.85	1.77
JD5	JS44	31	105	12.5	JS41	16.2	1.41	2.84
					JS42	18.7	1.29	2.27

实测平均单井出水量约为  $105 \text{ m}^3/\text{h}$ , 群井总涌水量约  $420 \text{ m}^3/\text{h}$ , 坑内观测井最大水位降深为  $4.07 \text{ m}$ , 坑外观测井最大水位降深为  $1.54 \text{ m}$ , 见表4。

表4 坑内群井试验水位降深实测值与计算值对比

Table 4 Comparison of measured drawdown and fitting values of group well test in the pit

序号	观测井 部位	井号	水位降深		
			实测值/m	计算值/m	误差/%
1	坑内	JS07	4.07	4.37	6.4
2		JS10	3.88	4.00	3.1
3		KW03	1.54	1.59	3.1
4	坑外	KW05	1.47	1.52	3.4
5		KW06	1.45	1.46	0.7

### 3.3 参数反演

为获取较为准确的水文地质参数, 以便对方案的进一步实施做调整, 本次将群井试验的流量、观测井水位降深等数据输入模型中, 采用数值模拟反求渗透系数。求解时, 通过不断调整模型中的渗透系数, 计算出水位降深值, 与观测井实测值进行对比, 根据两者之间的误差, 不断调整渗透系数, 如此反复, 直至计算值与观测值相差很小时为止。当模型中的渗透系数调整至表5数值时, 模拟计算的水位降深与实测值误差基本在5%左右, 见表4、图6。因此, 以表5中的参数对模型进行调整。

可见, 通过群井试验反求的渗透系数要远大于初步方案设计时所选择的参数, 特别是垂向渗透系数, 初步分析原因是本工程比靠近长江, 地层沉降过程中, 砂性土中的粘性土夹层含量少。

## 4 方案调整及实施效果

### 4.1 方案调整

利用群井试验反演后的参数对JD1~JD5节段

表5 模型渗透系数反演结果

Table 5 Inversion results of the model permeability coefficient

模型 层号	地层 编号	地层名称	厚度/ m	渗透系数/ $(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	
				水平	垂直
1	② <sub>2h3-4</sub>	淤泥质粉质粘土夹粉土	8	0.1	0.01
2	② <sub>3d13</sub>	粉砂	15	15	8
3	② <sub>3d12</sub>	粉砂	10	20	10
4	② <sub>3d11-d21</sub>	粉砂、细砂	16	42	20
5	④ <sub>d31</sub>	砾砂	9	51	40
6	④ <sub>e21-2</sub>	卵石	12	70	50

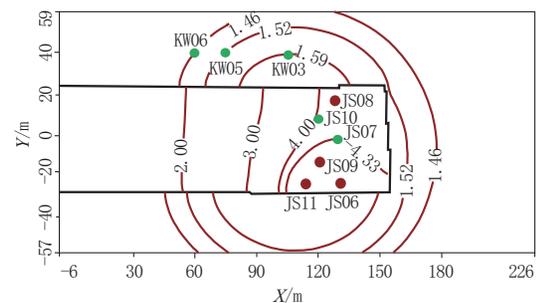


图6 群井试验拟合水位降深分布

Fig.6 Fitting water level drawdown distribution of the group well test

的降水进行重新模拟计算, 水位降至满足基坑开挖要求时, 预估总涌水量需达到  $86000 \text{ m}^3/\text{d}$ , 较前期方案设计预估的涌水量大了  $44000 \text{ m}^3/\text{d}$ , 增加了1倍。若按原方案继续施工, 则需要至少在JD1、JD2节段坑内至少再增加20口降水井, 坑内降水井数量多, 不方便坑内施工作业, 影响工期等。

原方案的降水井管径为  $273 \text{ mm}$ , 受水泵外径的影响, 一般最大采用额定流量  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  的水泵为合理利用大流量水泵, 发挥单井最大涌水量, 尽量不过

多地增加坑内降水井的数量,本次将JD1、JD2节段内剩余未施工的15口降水井管径调整为325 mm,可采用额定流量200 m<sup>3</sup>/h的水泵,其余节段降水井管径仍为273 mm。则所有降水井开启时,考虑群井干扰影响,总涌水量可达到约92000 m<sup>3</sup>/d。经数值模拟,基坑降水后的等水位线如图7所示,由图可知,各节段坑内水位降至设计要求时,坑外水位最大降至标高约-9.0 m、降深约14 m,坑外水位降深较原方案大5 m。

为确保坑内有不少于20%的备用兼观测井,将坑外备用井调整4口至JD1节段坑内,管径调整为325 mm,调整后的方案为坑内37口、坑外22口,总

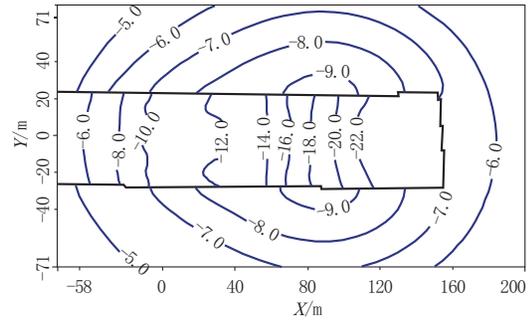
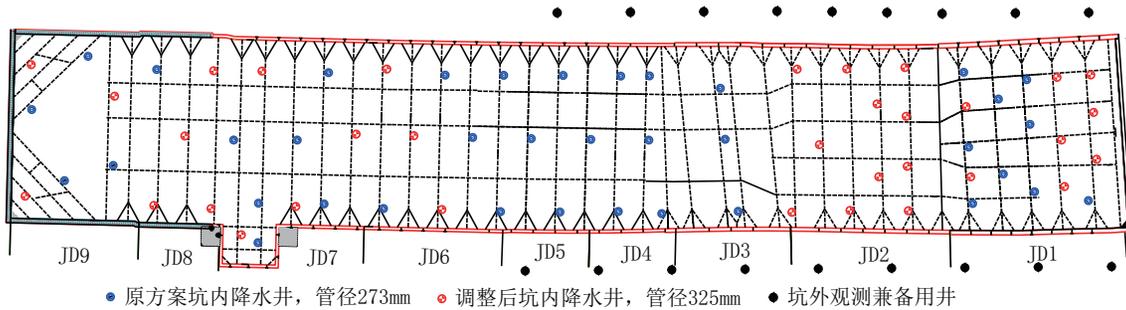


图7 方案调整后降水水位标高等高线图

Fig.7 Drawdown elevation contour map after scheme adjustment

井数保持不变,见图8。



● 原方案坑内降水井,管径273mm ● 调整后坑内降水井,管径325mm ● 坑外观测兼备用井

图8 调整后降水井平面布置

Fig.8 Plan layout of the dewatering wells after adjustment

4.2 实施效果

(1)成井施工过程中,严格控制施工质量,及时洗井试抽,通过洗井试抽数据判断成井质量,确保每口降水井的单井出水量能达到设计要求且水清无砂。所有降水井施工完后,在土方开挖之前,现场进行预降水,实测总涌水量约91000 m<sup>3</sup>/d,各段水位均降至基底以下,满足设计要求,坑外最大水位降至埋深约16 m(见表6),与预测结果较为吻合。其中JD1、JD2节段涌水量约占总量的80%,可见降水设计首先应围绕深坑进行设计,深坑水位到位后,浅坑水位也很容易到位。

(2)土方开挖过程中,根据开挖深度,按需降水,始终确保地下水位位于基底1~2 m以下,并每天监测基坑内外地下水位变化。开挖效果及抽排水情况见图9、图10。

(3)施工用电方面,降水采用专用线路,根据水泵配置情况,现场配置1200 kW的具有自动切换功能的备用发电机,并且水泵采用自启动功能电箱,确保网电停电后降水井持续运行,保障基坑安全。

表6 基坑预降水结果

Table 6 Pre-dewatering results of the foundation pit

节段	观测井水		抽水量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	运行井		备用井	
	坑内	坑外		井数	功率/ kW	井数	功率/ kW
JD1	28.65	15.82	45300	7	37	1	37
				8	18.5	1	18.5
JD2	21.10	14.40	30200	8	37	3	37
JD3	18.75	15.50	4300	2	18.5	1	18.5
JD4	17.82	14.75	8600	4	18.5	1	18.5
JD5	16.54	14.43	2590	2	7.5	2	7.5

注:表中37、18.5、7.5 kW水泵额定流量分别为200、100、40 m<sup>3</sup>/h,群井抽水时,效率为0.8~0.9

(4)坑内降水井靠近第一道砼支撑布置,并制作维护平台使降水井与支撑相连,土方开挖过程中加强对降水井的保护,开挖到底后,所有降水井均完好无损。

(5)结构施工完且满足抗浮要求后,拔除降水井水泵,对降水井进行注浆封堵后拆除。



图9 降水方案调整实施后的开挖效果

Fig.9 Excavation effect after adjustment of the dewatering scheme



图10 现场抽排水

Fig.10 Pumping and discharge water

## 5 结语

(1)随着工程建设的快速发展,隧道明挖基坑工程的开挖深度不断加大,地下水带来的风险也越来越大,在悬挂式止水帷幕条件下的承压水降水设计要求会越来越严格,通过抽水试验对降水方案进行优化调整,避免在后期降水效果无法满足要求时再采取补救措施,节省了人力、物力及时间,为工程准时完工提供了保证,为后期南京长江漫滩地区的超深基坑降水设计及施工提供参考和依据。

(2)利用围护结构进行现场原位抽水试验,可获取较准确的水文地质参数,以此优化的降水方案更符合现场实际条件,能有效控制基坑施工过程中的地下水问题。降水方案优化包括但不限于对降水井的数量、深度以及结构进行调整,应从多方面综合考虑,得出最优方案。

(3)本工程基底为斜坡状由浅到深,根据地下水流特征,开挖深的节段抽水量占整个基坑涌水量的约80%,对于此类型的基坑,降水应围绕开挖深的区域进行设计。同时应考虑围护结构深度阶梯状变

化对其降水的影响,应进行围护、降水综合设计。

## 参考文献(References):

- [1] 龚晓南,沈小克.岩土工程地下水控制理论、技术及工程实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2020.  
GONG Xiaonan, SHEN Xiaoke. Groundwater Control Theory, Technology and Engineering Practice in Geotechnical Engineering[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020.
- [2] 唐业清,李启民,崔江余.基坑工程事故分析与处理[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.  
TANG Yeqing, LI Qimin, CUI Jiangyu. Analysis and Treatment of Foundation Pit Engineering Accident[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999.
- [3] 吉泳安,孟舰.南京江北新区中心区地下空间一期基坑涌水事故处理与启示[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):94-99.  
JI Yongan, MENG Jian. Treatment and analysis of the foundation pit water inrush incident in Nanjing Jiangbei New District [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(7):94-99.
- [4] 虞灵军,陶灵聪,苏华.钻孔引发基坑管涌事故的分析与处理对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(9):72-74.  
YU Lijun, TAO Lingcong, SU Hua. Analysis on foundation pit piping accident caused of drilling and the treatment countermeasure [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(9):72-74.
- [5] 庄全贵.地铁站富水砂层基坑涌水事故分析与处置[J].城市轨道交通研究,2020,23(8):105-107.  
ZHUANG Quanguai. Analysis and disposal of water surge accident in metro station foundation pit built in water-rich silt stratum [J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(8): 105-107.
- [6] 刘静,吉泳安.管井降水技术在深基坑涌水事故处理中的应用与启示[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):79-85.  
LIU Jing, JI Yongan. Tube well dewatering technology for the treatment of the deep foundation pit water flooding accident[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(6):79-85.
- [7] 吕波,彭远胜,杨钢锋,等.南宁市某地铁站基坑涌水原因分析及处理措施[J].施工技术,2018,47(3):88-92.  
LÜ Bo, PENG Yuansheng, YANG Gangfeng. Analysis and treatment of the water gushing of foundation excavation for a subway station in Nanning[J]. Construction Technology, 2018, 47(3):88-92.
- [8] 李洪财.南京长江江心洲超大直径盾构接收井明挖段超深基坑降水技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):87-92.  
LI Hongcai. Study on dewatering technology of ultra-deep foundation pit in opening cut section of super-large diameter shield receiving well in river island of Nanjing Yangtze River[J]. Explora-

- tion Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(5):87-92.
- [9] 代洪波. 南京长江隧道到达井基坑降水设计与施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(10):77-79.
- DAI Hongbo. Design and construction of dewatering in foundation pit of vertical shaft in Nanjing Changjiang Tunnel[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(10):77-79.
- [10] 王钰, 刘静. 扬州深大基坑降水方案优化设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(9):63-69.
- WANG Yu, LIU Jing. Optimized dewatering design for a deep and large foundation pit in Yangzhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(9):63-69.
- [11] 邵晨晨. 复杂地质条件和敏感环境中基坑设计实践及关键技术[J]. 钻探工程, 2021, 48(6):102-108.
- SHAO Chenchen. Design practice and key technology for the foundation pit in complex geology and sensitive environments [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(6):102-108.
- [12] 邵吉成, 骆嘉成, 卢立海. 疏堵结合堵漏技术在基坑渗漏处理中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(6):92-96.
- SHAO Jicheng, LUO Jiacheng, LU Lihai. Application of drainage and plugging technology in treatment of leakage in the foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(6):92-96.
- [13] 时钟. 高富水、强透水卵石地层深基坑降水设计与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(5):78-83.
- SHI Zhong. Dewatering design and practice of deep foundation pit in high water-rich and strong permeable cobble stratum[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(5):78-83.
- [14] 曹树辉, 车灿辉, 吉泳安. 深层水平封底在巨厚砂卵石层基坑地下水控制中的应用[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(10):1657-1665.
- CAO Shuhui, CHE Canhui, JI Yongan. Application of deep horizontal bottom sealing to groundwater control of foundation [J]. Tunnel Construction, 2019, 39(10):1657-1665.
- [15] 车灿辉. 巨厚非均质潜水含水层抽水试验及参数计算[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(11):60-64.
- CHE Canhui. Pumping test and calculation of hydrogeological parameters for massive anisotropic phreatic aquifers[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(11):60-64.
- [16] JGJ 120—2012, 建筑基坑支护技术规程[S].
- JGJ 120—2012, Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S].
- [17] JGJ 111—2016, 建筑与市政工程地下水控制技术规范[S].
- JGJ 111—2016, Technical code for groundwater control in building and municipal engineering[S].
- [18] GB 50296—2014, 管井技术规范[S].
- GB 50296—2014, Technical code for tube well[S].

(编辑 周红军)