

# 地铁车站富水砂层基坑涌水事故分析与处置

庄全贵

(福州地铁集团有限公司, 350009, 福州//高级工程师)

**摘要** 地铁基坑工程建设施工的成败与降水有着密不可分的关系,尤其对于富水砂层,其地下水的处理至关重要。以福州地铁某车站降水过程中疏干井壁突涌事件为例,在分析事故原因和处理措施的基础上,针对事故采取了新的降水设计和验算,并提出了针对富水砂层深基坑降水的控制措施。

**关键词** 地铁车站;富水砂层;基坑涌水

**中图分类号** TU753.8; U231.4

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.08.025

## Analysis and Disposal of Water Surge Accident in Metro Station Foundation Pit Built in Water-rich Silt Stratum

ZHUANG Quangu

**Abstract** The success or failure of metro foundation pit project is closely related to the precipitation, especially for the water-rich silt stratum, in such a case, the treatment of underground water is crucial. Taking a water surge accident of drainage shaft well occurred during rainfall at a metro station in Fuzhou City as an example, and based on the accident cause analysis and the disposal measures, a new precipitation design and checking calculation targeting at the accident is adopted, corresponding risk control measures in the dewatering process of deep foundation pit built in water-rich silt stratum are proposed.

**Key words** metro station; water-rich silt stratum; water surge foundation pit

**Author's address** Fuzhou Metro Group Co., Ltd., 350009, Fuzhou, China

随着地下空间不断往深度开发,承压水问题对基坑安全影响也越来越大。因此,为保证施工安全,采取相应技术措施控制和减少基坑降水风险尤为必要。国内外不少学者们对富水砂层基坑降水以及基坑降水风险控制进行了系列研究<sup>[1-3]</sup>。

本研究以福州地铁某线路为例。福州城区四面环山,闽江、乌龙江从城区穿过,两江间夹南台岛。南台岛主要地层为淤泥质黏土及淤泥,淤泥及

粉、细、中砂夹层或互层沉积,含泥或泥质中细砂层,细中砂层;局部粉细砂层厚度达20 m以上。地下水补给受大气降水和地表径流的影响,且多与内河、两江水系相连,车站施工安全与降水息息相关。

## 1 工程概况

福州地铁某车站位于仓山区螺洲镇南北向规划路与东西向规划路交叉口附近,车站沿东西向规划路敷设,为地下岛式2层车站。车站总长为289 m,标准段宽为19.7 m,端头井宽为23.8~24.1 m。

### 1.1 工程水文与地质

车站施工范围上层滞水埋深为2.54~4.24 m,松散孔隙水稳定水位埋深为2.74~4.13 m,松散层孔隙承压水稳定水位埋深为4.95~6.54 m。粉质黏土、淤泥质土为相对隔水层,其富水性差,微透水。松散层孔隙潜水分布于(含泥)中细砂层,属于强透水体。松散层孔隙承压水赋存于粉细砂层,各含水层存在“天窗”联通,属于强透水体。

基坑开挖范围内主要为杂填土(层厚0.6~6.1 m),粉质黏土(层厚1.2~4.5 m),淤泥质土(层厚0.6~8.2 m),(含泥)中细砂(层厚1.1~20.2 m)。其下主要为淤泥质土(层厚0.6~8.2 m),粉细砂(层厚平均31.25 m)。

### 1.2 现场降水井设置

一期结构长100 m的基坑内设置孔深为26 m的8口疏干井和孔深为43 m的8口减压井。基坑外设置孔深为24 m的4口浅层水位观测井和孔深为37 m的2口坑外承压水头观测井。

## 2 基坑涌水事故概况

2019年1月5日15:40,由于土方开挖需要切除疏干井S-06井管,井内水泵暂停抽水,此时基坑开挖深度约17 m。在井管切除过程中,疏干井S-06井管接缝处突发涌水涌砂。将疏干井S-06井管割除且水泵恢复抽水后,疏干井S-06水位有明显下降

且不会冒水。

2019 年 1 月 5 日 20:47,疏干井 S-06 再次突发涌水涌砂,井内两台水泵失效(涌水含砂量较大,水泵堵塞无法抽排),涌水迅速扩散。

2019 年 1 月 7 日 6:00,在疏干井 S-06 注浆封堵完成后,疏干井 S-05 出现涌水涌砂,并且水流越来越大。

2019 年 1 月 9 日 8:15,32 轴(即 S-06 疏干井)断面处基坑水面开始冒气泡。2019 年 1 月 9 日 14:00,断面基坑水面仍存在冒气泡,且有冒出速度加快趋势。

### 3 事故原因分析

1) 地质原因:现场基坑开挖场地内存在厚度不均的中细砂层,且其下存在平均厚度达 31.25 m 的粉细砂层,砂层渗透系数大、透水性强,这给事故的发生埋下了安全隐患。

2) 地下水原因:松散层孔隙潜水分布在中细砂层,承压水赋存于粉细砂层,且各含水层存在水力联系,地下水位较高,易造成涌水涌砂事故的发生。

3) 降水井设置原因:降水井设置未充分考虑地层厚度不均情况,与勘察资料结合不够紧密,且没有充分考虑降水井布置、密目网目数和滤料设计,导致基坑内减压井降水没有达到预期效果(减压井 J6、J7 没有水出来)。

4) 施工原因分析:施工过程中存在不规范行为,未严格按照设计施工。大部分疏干井施工深度过深,且未根据下封隔水层层厚度薄弱情况选择降水井位置。承压水击破疏干井位置隔水层,导致承压水沿着井管突涌。

### 4 事故后降水处置

#### 4.1 降水井参数确定

基坑涌水量按照“大井法”计算<sup>[6]</sup>,由此可以求得基坑涌水量、单井出水量和井数分别为 11 196 m<sup>3</sup>/d、1 002.6 m<sup>3</sup>/d、和 16。单井出水量根据福州地区经验进行 80%折算,并结合现场实际成井效果取 800 m<sup>3</sup>/d。结合现场实际情况,共在基坑外设置 15 口减压井、2 口观测井;每口井的井深以超过地下连续墙底标高且不小于 10.0 m 为控制标准,井之间的水平间距约为 15 m;成井口径为 400 mm,井管直径为 219 mm。

#### 4.2 降水井设计

降水井采用  $\phi$  219 mm 钢管, $t=3.0$  mm( $t$  是壁厚),其中,沉淀管封底处理;滤网需要与使用的过滤器相匹配,经综合考虑,本次拟采用双层 60 目滤网;井管过滤段井周采用建筑粗砂填充,承压水减压井在滤料之上填充 10.0 m 的优质黏土,以隔断上下含水层通过井周的直接水力联系。疏干井滤料之上填充普通黏性土,减压井或承压水观测井的优质黏土以上部分采用普通黏性土进行回填。

#### 4.3 基坑降水井布置

突涌发生后,现场迅速往基坑内回灌水进行反压,坑内回灌水埋深约 10.8 m,平衡承压水头压力,基坑内水面距离地表深约 7 m,险情得到了基本控制。由于基坑发生突涌,基底隔水层已局部被破坏,承压水同上部潜水联通,为满足后续施工,需要将承压水降至端头井下翻梁下 2 m,即后续施工基坑内承压水位最大降深约 14 m。另外,坑内最深处已开挖至约 17 m,且承压水位高于开挖面,无法完全从坑内降低承压水位。因此,只能在基坑外布置降水井。

### 5 降水试验及参数分析

#### 5.1 降水试验

实测降压井单井出水量、实测初始地下水位和观测水位下降的规律,进行了抽水试验,通过抽水试验数据,指导后期降水。试验过程中,选取 2 口抽水井安装水表,以观测水量的变化情况,观测频率为 1 次/h。

经过现场实测,7.5 kW 及 5.5 kW 水泵的单井出水量约为 30 m<sup>3</sup>/h,3 kW 水泵的单井出水量约为 12 m<sup>3</sup>/h。此次群井试验总抽水量约为 102 m<sup>3</sup>/h(2 424 m<sup>3</sup>/d)。近处观测井水位下降约 2.7 m,远处观测井水位下降约 2.2 m,均下降至埋深 9.75 m;坑内承压水位也同步下降至埋深约 9.54 m;但坑内明水下降约 0.33 m,说明接受到了坑底承压水的补给。

群井降水试验结果如表 1 和图 1 所示。从观测数据看,抽水 12 h 后,水位下降基本趋于平稳。

表 1 群井降水试验结果

项目	观测井编号					坑内承压水位	坑内明水
	8#	7-1#	6#	2#	4-1#		
初始水位埋深/m	7.32	7.46	7.17	7.68	7.54	9.54	10.88
抽水 16 h 后水位埋深/m	9.71	10.18	9.39	9.86	9.75	9.54	10.55
水位降深/m	2.39	2.72	2.22	2.18	2.21	9.54	-0.33

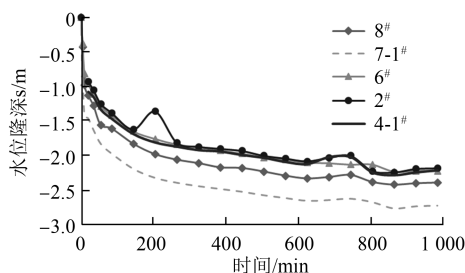


图1 观测井水位降深随时间变化曲线

## 5.2 渗透系数

渗透系数按式(1)一式(2)计算。

1) 1个主井、1个观测井情况下的渗透系数计算公式:

$$K = \frac{0.366 Q}{M(s_w - s_1)} \lg \frac{r_1}{r_w} \quad (1)$$

2) 2个观测井情况下的渗透系数计算公式:

$$K = \frac{0.366 Q}{M(s_1 - s_2)} \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (2)$$

式中:

$K$ ——渗透系数, m/d;

$s_1, s_2$ ——分别为两个观测孔内的水位降深, m;

$r_1, r_2$ ——分别为两个观测孔至抽水机的水平间距, m;

$s_w$ ——抽水主井水位降深, m;

$r_w$ ——抽水井井径, mm;

$M$ ——承压含水层厚度, m;

$Q$ ——抽水量,  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

根据实测数据,由式(1)一式(2)计算得出,7-1#、6#和8#观测井的渗透系数分别为15.03 m/d、15.58 m/d和15.54 m/d,基坑外两个观测井2#和4-1#的渗透系数为20.06 m/d。

## 5.3 参数验证

基坑地下水位降深  $S_0$  计算公式:

$$S_0 = \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{2\pi MK} \ln \frac{R}{r_{ij}} \quad (3)$$

式中:

$R$ ——影响半径;

$q_j$ ——按干扰井群计算的第  $j$  口降水井的单井流量;

$r_{ij}$ ——第  $j$  口井中心至  $i$  点的距离。

利用2019年1月20日现场4口降水井的群井抽水试验数据进行参数验证。当渗透系数  $K$  取值

20 m/d、影响半径取值 500 m/d 时,除 8#、7-1# 观测井计算水位降深与实测降深误差约为 10% 外,6#、4#、4-1# 的均小于 4%。

按照上述方法进行补充降水,经过 7 d 不间断抽水,基坑内承压水位保持在地面以下约 21.5 m (标高为 -14.3 m)。2月17日基坑恢复开挖施工,现场施工处于安全可控状态。这说明降水井设计满足工程施工安全要求,同时,现场事故得到了有效了处置。

## 6 结论

1) 福州区域内工程水文地质复杂、地下水丰富,工程施工安全状态与地下水紧密相关,降水作为工程辅助施工的一项重要手段,应予以高度重视。

2) 车站结构与降水需以工程勘察为基础,勘察资料越详细,水文地质情况越准确,车站施工安全风险设计与施工措施就越具体,同时,车站施工安全风险就越可控。

3) 降水设计应紧密结合勘察资料及抽水试验进行,依据降水试验效果修正井管布置、井管与井孔间隙、井管大小、井管钻孔布置、密目网、滤料等。针对透水性良好的地层和有地下承压水的地层,增设减压井。

4) 降水井应严格按照设计方案施工。要高度重视洗井工作,使高压水通过水管通到降水管下部,以确保井清洗干净,不被井壁泥浆及周边细小颗粒堵塞。

5) 地下工程施工的不确定因素较多,施工过程需加强现场施工质量监督,尤其是要对配套工程如降水等的监督,确保施工质量满足设计要求;并要加强施工监测,做到信息化施工,确保施工安全。

## 参考文献

- [1] 余德可,何鹏,陈伟. 济南某地铁站点基坑降水措施分析[J]. 水利科技与经济,2019(5): 79.
- [2] 董立朋,刘龙生. 富水厚砂层深基坑降水设计与施工[J]. 隧道建设,2012(增刊2): 162.
- [3] 毛则飞,李晓利. 苏州地区深基坑承压水降水风险分析与控制——以苏州地铁5号线竹园路站为例[J]. 地质灾害与环境保护,2017(3): 67.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑基坑支护技术规程: JGJ 120—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2012.

(收稿日期:2020-03-18)