

DOI: 10.11779/CJGE2019S1018

# 天津市基坑抽排地下水水量计量研究

刁 钰<sup>1, 2</sup>, 高泽东<sup>1, 2</sup>, 郑 刚<sup>1, 2</sup>, 褚振西<sup>1, 2</sup>, 郭勇志<sup>1, 2</sup>, 贾镇阳<sup>1, 2</sup>

(1. 天津大学土木工程系, 天津 300072; 2. 天津大学滨海土木工程结构与安全教育部重点实验室, 天津 300072)

**摘要:** 基于天津工程地质特点和水文地质特点, 通过对天津市内多个基坑降水工程全方位、全过程的监测, 运用不同测量方法, 通过抽样与全面对比, 研究了基坑疏干井与降压井抽水量变化关系, 并结合已有工程实例, 确定了不同类型基坑适用的降水水量计量方式, 取得了基坑降水水量计算的经验公式。同时, 根据不同计量方式下抽水过程中电量监测数据, 总结了气泵降水和潜水泵降水抽水量与耗电量之间的关系。根据典型工程的测量结果并结合理论推导, 提出3种基坑工程地下水抽排量估算方法, 即井流量计算法、体积计算法和电量推測法。

**关键词:** 地下水; 基坑; 抽水量; 耗电量

中图分类号: TU46 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2019)S1-0069-04

作者简介: 刁 钰(1982—), 男, 副教授, 从事岩土与地下工程的教学与研究工作。E-mail: yudiao@tju.edu.cn。

## Measurement of groundwater dewatering in excavations in Tianjin

DIAO Yu<sup>1, 2</sup>, GAO Ze-dong<sup>1, 2</sup>, ZHENG Gang<sup>1, 2</sup>, CHU Zhen-xi<sup>1, 2</sup>, GUO Yong-zhi<sup>1, 2</sup>, JIA Zhen-yang<sup>1, 2</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Key Laboratory of Coast Civil Structures and Safety of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Based on the characteristics of engineering geology and hydrogeological characteristics in Tianjin, multiple excavation dewatering projects are monitored comprehensively in the entire process. Using different measurement methods, the pumping volume change relationships of excavation dewatering well and step-down well are studied through the sampling and comprehensive comparison. Combined with the existing engineering examples, the measurement methods and methods of precipitation water for different types of excavations are determined, and the empirical formula for calculating the precipitation water volume of excavations is obtained. At the same time, according to the monitoring data of water quantity in the process of pumping in different metering methods, the relationship between pumping water pumping and submersible pumping water pumping capacity and power consumption is summarized. According to the measured results of typical engineering and theoretical derivation, three methods for estimating groundwater pumping displacement in excavation engineering are proposed, namely well flowmeter method, volume calculation method and electricity estimation method.

**Key words:** groundwater; excavation; pumping amount; power consumption

## 0 引言

伴随着高层建筑、地铁的大规模建设和地下空间的大力开发, 基坑降水对地下水的抽排也愈加明显。降水过程对地下水的抽降, 引发地面及土层沉降, 对于建筑物和构筑物密集的城市, 引发地面沉降的影响更加显著, 很多城市多个大型基坑群施工<sup>[1-2]</sup>引起周边地面较大的沉降也已经证明了这一点。同时降水工程作为一种地下隐蔽工程, 对于存在复杂越流的情况, 不能正确认识其概念模型, 可能造成重大工程事故<sup>[3]</sup>。

合理规范基坑降水是控制其引发地面沉降及其他环境问题的根本方法<sup>[4]</sup>, 然而, 目前基坑降水规范化瓶颈是抽水量无法量化。一方面, 由于缺乏有效的计算手段, 理论计算值与工程中观察值相差一个量级,

实测值远大于计算值, 造成了地下水的浪费和地面沉降的低估。另一方面, 由于缺乏精确、高效、经济的测量手段, 无法有效地对基坑降水进行监控, 也无法对已有计算方法进行验证和修正, 更无法得到可靠的工程统计数据。

针对这些问题, 本文依托天津市十余个典型基坑工程, 研究了不同阶段、不同抽水条件下基坑工程地下水抽排规律, 同时研究了不同抽水方式下所对应的抽水量与耗电量之间的关系, 提出天津市基坑工程地下水抽排量估算方法, 以期为更好地量化基坑抽水量

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0802008); 国家自然科学基金重点项目(41630641); 天津市科技计划项目(16YDLJSF00040)

收稿日期: 2019-04-29

提供科学依据。

## 1 工程实测

### 1.1 基坑抽水量实测分析

本文通过对天津市 5 个典型基坑项目(曲阜道站, 肿瘤医院, 海上花园, 张贵庄站, 新兴村站)降水过程的全方位、全过程监测, 运用不同测量方法, 通过抽样与全面对比, 测算基坑疏干与降压抽水量, 同时结合已有的 6 个基坑工程抽水量实测数据<sup>[5]</sup>进行对比分析, 确定不同类型基坑适用的降水量计量方式与方法。

5 个典型基坑项目抽水量统计情况如下:

对张贵庄站基坑内 45 口疏干井和海上花园基坑内 16 口疏干井抽水量的变化情况进行监测, 所得统计结果如图 1 所示。

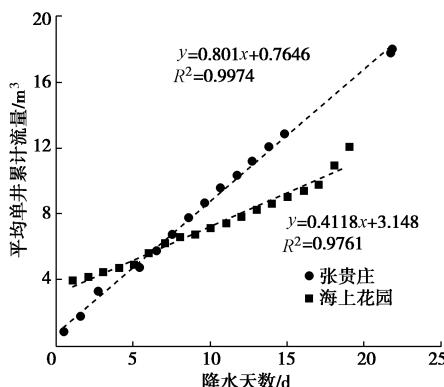


图 1 张贵庄和海上花园单井累计流量

Fig. 1 Single-well cumulative flow of Zhangguizhuang excavation and Marine Garden excavation

对曲阜道基坑工程和肿瘤医院左侧有代表性的 3 口井进行统计, 所得单井累计流量如图 2 所示。

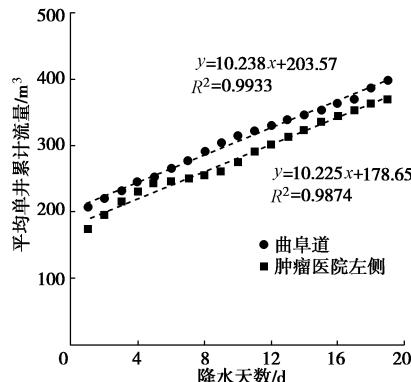


图 2 曲阜道和肿瘤医院左侧基坑单井累计流量

Fig. 2 Single-well cumulative flow of Qufu Road excavation and left side of Tumor Hospital excavation

肿瘤医院右侧基坑也采取 3 口有代表性的井进行监测, 所得抽水量变化如图 3 所示。

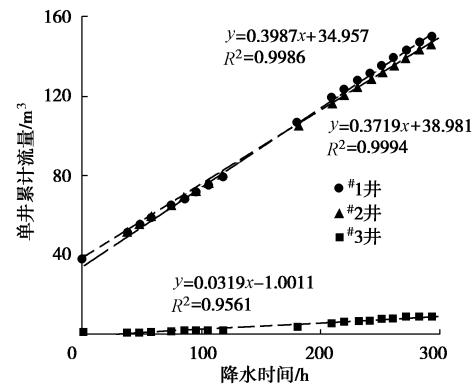


图 3 肿瘤医院右侧开挖阶段单井累计流量

Fig. 3 Single-well cumulative flow during excavation stage of right side of Tumor Hospital excavation

为方便对比分析, 将各测量工程所得的水量分析结果与其对应的降水阶段整理如表 1 所示。

表 1 疏干井抽水量汇总表

Table 1 Pumping volume of drainage well

工程名称	面积/ $m^3$	深度/m	降水阶段	疏干含水层	止水帷幕情况	单井流量/( $m^3 \cdot d^{-1}$ )	测井数
辽河北道站	10000	17	预降水	潜水、第一承压含水层	未截断第二承压含水层	50.7	8
凌宾路站	5800	19	预降水	潜水、第一承压含水层	未截断第二承压含水层	44.9	5
北站站小里程	2000	17	预降水	潜水、第一承压含水层	未截断第二承压含水层	44.8	3
张贵庄站	10000	25	预降水	潜水、第一承压含水层	截断第二承压含水层	19.2	45
宾馆西路站	6500	26	预降水	潜水、第一承压含水层	未截断第二承压含水层	12.4	21
新兴村站	6000	13	预降水	潜水	截断第一承压含水层	12.2	29
北站站小里程	2000	17	预降水	潜水、第一承压含水层	截断第二承压含水层	9.1	10
大都会	29000	23	开挖前期	潜水、第一承压含水层	截断第二承压含水层	19.2	6
肿瘤医院左侧	19000	15	开挖前期	潜水	截断第一承压含水层	10.2	3
大都会	29000	23	开挖前期	潜水、第一承压含水层	截断第二承压含水层	9.0	5
肿瘤医院右侧	7000	15	开挖前期	潜水	截断第一承压含水层	6.4	3
宾馆西路站	6500	26	开挖前期	潜水、第一承压含水层	未截断第二承压含水层	4.8	21
宾馆西路站	6500	26	开挖后期	潜水、第一承压含水层	未截断第二承压含水层	2.9	21
新兴村站	6000	13	开挖后期	潜水	截断第一承压含水层	2.3	29
名门	16000	12	维持	潜水	未截断第一承压含水层	15.0	5
宾馆西路站	6500	26	维持	潜水、第一承压含水层	未截断第二承压含水层	1.4	21
曲阜道站	2300	17	维持	第二承压含水层	截断第一承压含水层	10.2	2
海上花园	31000	9.8	维持	—	—	0.4	16

## 1.2 基坑抽水量实测小结

(1) 疏干井抽水量在预降水阶段、开挖阶段、维持阶段逐渐减小。

(2) 当疏干层为潜水层, 且止水帷幕截断第一承压含水层时, 在预降水阶段、开挖阶段、维持阶段, 单井排水量保守取值分别为 15, 10, 3 m<sup>3</sup>/d。

(3) 当疏干层为潜水层, 且止水帷幕未截断第一承压含水层时, 且第一、第二承压含水层水力联系较强时, 在维持水阶段, 单井排水量最大值可达 15m<sup>3</sup>/d。

(4) 当疏干层为潜水层和第一承压含水层, 且止水帷幕未截断第二承压含水层, 但第一、第二承压含水层水力联系较弱, 在预降水阶段、开挖阶段、维持阶段, 单井排水量保守取值 15, 10, 3 m<sup>3</sup>/d。

(5) 当疏干层为潜水层和第一承压含水层, 且止水帷幕未截断第二承压含水层, 且第一、第二承压含水层水力联系较强时, 在预降水阶段, 单井排水量最大值可达 50 m<sup>3</sup>/d。

(6) 当疏干层为潜水层和第一承压含水层, 止水帷幕截断第二承压含水层, 即使第一、第二承压含水层水力联系较强时, 在预降水阶段, 单井排水量保守取值为 10 m<sup>3</sup>/d。

(7) 在第二承压含水层降压井, 单井排水量稳定值为 10 m<sup>3</sup>/d。

## 2 基坑抽水量与耗电量的关系

为实现地下水开采量的量化管理, 研究了基坑抽水过程中不同降水方式下抽水量与耗电量的关系。

### 2.1 气泵降水

新兴村站基坑工程采用气泵降水, 该工程单井耗电量为 8.3 kW·h/d。所得该工程开挖维持阶段平均单井出水量与耗电量变化如图 4 所示。

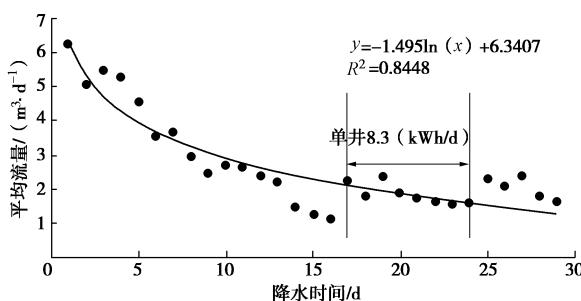


图 4 新兴村-单井水量及耗电量关系

Fig. 4 Relationship between pumping volume of single well and electricity consumption of Xinxingcun excavation

对应基坑抽水量与耗电量之间的关系式为

$$Q = cW \quad , \quad (1)$$

式中,  $Q$  为抽水量,  $c$  为气泵系数,  $W$  为用电量。对

于新兴村站基坑工程  $c=0.25$  (m<sup>3</sup>/(kW·h))。

对于气泵降水, 由于不存在空转现象, 即转动时均为排水, 因此耗电量与抽水量之间有明确关系。

### 2.2 潜水泵降水

肿瘤医院右侧基坑工程项目也采用潜水泵降水, 耗电量变化如图 5 所示。

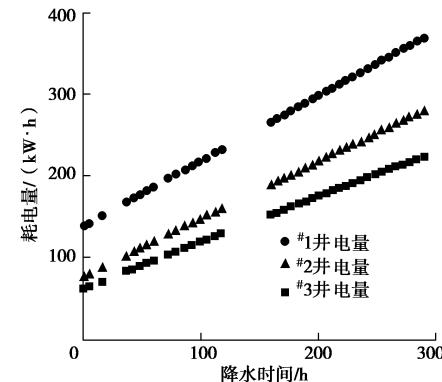


图 5 肿瘤医院右侧基坑三口井耗电量变化

Fig. 5 Electricity consumptions of three wells at the right side of Tumor Hospital excavation

需要特别说明的是, 3 号井虽出水量和其余两口井相比差一个数量级, 但耗电量和 1,2 号井相比差别不大。汇总该工程电量水量关系如表 2 所示。

表 2 肿瘤医院基坑电量水量关系对应表

Table 2 Relationship between electricity and pumping volume in Tumor Hospital excavation

位置	井号	单井耗电量/(kw·h/d)	单井出水量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	潜水泵系数/(m <sup>3</sup> (kw·h) <sup>-1</sup> )
右侧	1	19.19	9.569	0.500
基坑	2	16.83	8.926	0.530
	3	13.35	0.7656	0.057
左侧	7	33.91	0.442	0.013
基坑	8	44.56	25.055	0.562
	9	51.54	24.026	0.466

综上可以发现常规潜水泵空转过程中的耗电量基本与抽水过程中相同, 而且由于潜水泵可能存在空转现象, 耗电量与抽水量之间没有明确关系。对应不同的基坑工程, 潜水泵系数也会不同。

## 3 基坑抽水量的体积估算方法

针对不同的水文地质情况, 分别提出不同情况下抽水时基坑抽水量的体积估算方法。

### 3.1 潜水层

对于潜水层, 可按照下面体积估算的方法对各工程的总抽水量  $Q$  进行估计:

$$Q = sAH \quad , \quad (2)$$

式中,  $A$  为基坑的面积,  $H$  为基坑的抽水深度,  $s$  为各土层对应的给水度。

天津地区各土层给水度统计值可参见文献[5]表 3-1。

### 3.2 承压含水层

对于承压含水层，可采用下面的体积估算公式：

$$Q = S_s M A \Delta h , \quad (3)$$

式中， $A$  为基坑面积， $\Delta h$  为承压含水层水头的降低值， $M$  为承压含水层厚度， $S_s$  为各土层对应的单位释水系数。天津地区各土层单位释水系数统计值可参见文献[5]表 3-2。

### 3.3 有越流情况

若所抽取地下水潜水与承压含水层之间由一弱透水层，则不可避免的会产生阶跃情形，此时可采用如下公式来估算抽水体积：

$$Q = k A t \Delta h / L , \quad (4)$$

式中， $k$  为弱透水层的渗透系数，建议隔水层渗透系数取 0.05 m/d， $A$  为基坑面积， $L$  为弱透水层厚度， $\Delta h$  为水头降低值， $t$  为降水时间。

## 4 结 论

(1) 总结了天津市不同基坑类型、不同降水深度、不同降水阶段、不同降水类型情况下，基坑工程地下水抽排规律，并提出了相应的典型特征值。

(2) 通过现场大量数据的分析，研究了目前天津市常用的气泵与潜水泵的耗电量与排水量的关系。潜水泵由于空转现象，耗电量与抽水量无明确关系；而气泵耗电量与排水量存在定量关系。

(3) 根据典型工程的测量结果，结合理论推导，提出 3 种基坑工程地下水抽排量估算方法，即井流量计算法、体积计算法和电量推测法。

### 参考文献：

[1] 杨 敏, 卢俊义. 基坑开挖引起的地面沉降估算[J]. 岩土

工程学报, 2010, 32(12): 1821 - 1828. (YANG Min, LU Jun-yi. Estimation of land subsidence caused by foundation pit excavation [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(12): 1821 - 1828. (in Chinese))

- [2] 吴意谦. 潜水地区地铁车站深基坑降水开挖引起的变形研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2016. (WU Yi-qian. Study on deformation caused by precipitation excavation of deep foundation pit of subway station in diving area[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2016. (in Chinese))
- [3] 王建秀, 吴林高, 胡力绳, 等. 复杂越流条件下超深基坑抽水试验及工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(增刊 1): 3082 - 3087. (WANG Jian-xiu, WU Lin-gao, HU Li-sheng, et al. Pumping test and engineering application of ultra-deep foundation pit under complicated over-flow conditions[J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering 2010, 29(S1): 3082 - 3087. (in Chinese))
- [4] 仵彦卿, 张建山, 李 哲. 基坑抽水引起周围地面沉降机理及防治措施[J]. 岩土力学, 2005, 36(10): 61 - 65. (CHU Yan-qing, ZHANG Jian-shan, LI Zhe. Mechanism and prevention measures of surrounding ground subsidence caused by pumping of foundation pit[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 36(10): 61 - 65. (in Chinese))
- [5] 梁赫伟. 天津地区基坑降水抽水量计算方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2016. (LIANG He-wei. Study on calculation method of precipitation pumping amount of foundation pit in Tianjin area[D]. Tianjin: Tianjin university, 2016. (in Chinese))

(责编: 孙振远)

(上接第 20 页)

- [2] XU K J, POULOS H. Theoretical study of pile behaviour induced by a soil cut[C]// Proceedings of Geotechnical Engineering. Melbourne, 2000: 1 - 6.
- [3] 林存刚, 夏唐代, 梁荣柱, 等. 盾构掘进地面沉降虚拟镜像算法[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(8): 1438 - 1446. (LIN Cun-gang, XIA Tang-dai, LIANG Rong-zhu, et al. Estimation of shield tunneling-induced ground surface settlements by virtual image technique[J]. Chinese Journal of Geotechnical

Engineering, 2014, 36(8): 1438 - 1446. (in Chinese))

- [4] POULOS H, CHEN L T. Pile response due to excavation induced lateral soil movement[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1997, 123(2): 94 - 99.
- [5] 尹盛斌. 软土地区基坑周围土体位移预测研究[D]. 天津: 天津大学, 2011. (YIN Sheng-bin. Research on prediction of ground movement due to excavation in soft-soil area[D]. Tianjin: Tianjin University, 2011. (in Chinese))

(责编: 胡海霞)