

论土石围堰和基坑渗流场调控

张家发^{1a,1b}, 林水生^{1a}, 吴德绪^{1b,2}, 张伟^{1a,1b}, 李少龙^{1a,1b}

(1. 长江科学院 a. 水利部岩土力学与工程重点实验室; b. 国家大坝安全工程研究中心, 武汉 430010; 2. 长江勘测规划设计研究院, 武汉 430010)

摘要:分析了围堰和基坑工程的特点;提出了渗流场调控的概念及调控的总体目标;强调保障调控效果就必须做到时机恰当、措施得当,按照实施的时机将调控措施分为预设措施和应急措施;归纳概括了针对性的调控措施及其适用条件;结合工程实例说明了预设措施失效时及时采取应急调控措施的重要性。渗流场调控理论充分考虑了渗流场在各种因素影响下的动态特点,可以指导在工程设计、施工和运行的全过程中布置和实施及时、有效的调控措施,以达到保障工程安全、控制工期和成本、减轻环境负效应的总体目标。渗流场调控理论对于所有涉水工程及与地下水有关的工程都具有重要意义。

关键词: 围堰; 基坑; 渗流场; 调控; 安全

中图分类号: TV551

文献标志码: A

文章编号: 1001-5485(2013)02-0020-07

1 问题的提出

在水域或者临近水域范围内开挖基坑进行工程建设时,都需要通过设置围堰来维护工程施工场地,这包括拦河大坝、水电站厂房、水闸、船闸等水利水电工程^[1],航运工程,湖区水闸工程,跨河桥梁桥墩、锚碇等基础工程,穿越河流(交通、输水、输电、输油、输气及通讯光缆等)隧洞及其进出口竖井工程,等等。世人瞩目的港珠澳大桥采用桥隧结合方案,需要在海底隧道两端各设置海中人工岛,借助围堰才能开始隧道工程开挖,这是海上围堰和基坑工程的一例。这些工程都是涉水工程,围堰是借以开挖和保护基坑的手段,围堰和基坑的安全是工程建设安全的重要前提。围堰上游水位和工程场地地下水作用下的渗流场是影响围堰和基坑工程安全的主要因素之一,渗流场的控制是保障和促进围堰与基坑工程安全的重要手段和途径。

水利水电工程建设中,土石围堰是常见的设计方案,这是因为往往其基坑规模庞大,运用周期长,经历洪水考验的几率高,对围堰工程的可靠性有着很高的要求,而且其它建筑物施工产生的大量开挖弃渣料可供利用。一些平原水利工程的基坑,也可以借用已有的堤防工程挡水,例如汉江兴隆水利枢

纽工程就借助汉江两岸的堤防,免去了河道两岸纵向围堰的建设;南水北调中线引江济汉工程进口段基坑就完全借助荆江大堤和龙州垸围堤的作用,省去了新建围堰工程。小规模基坑围堰的结构形式可以大大简化,桥梁工程就常常采用钢围堰作为桥墩基坑的保护措施。

葛洲坝水利枢纽和三峡水利枢纽工程建设,先后对长江干流实行了截流,渗流控制的研究是其围堰和基坑工程设计的重要内容^[2-4],也为后续的大型围堰和基坑工程渗流研究提供了范例。但是围堰和基坑工程的渗流控制也面临着新的挑战。一方面,我国水利水电工程建设重心已经向西南地区转移,在金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、怒江等流域建设的大型水电工程,不仅面临着高山峡谷洪水的考验,而且大都建在厚达几十米到几百米深厚覆盖层上^[5];另一方面,随着我国对于涉及民生的水利和交通工程的进一步重视,在平原和丘陵区的涉水工程也越来越多,虽然其围堰挡水水头不高,但是基坑规模大,基础条件差,地下水位高,施工干扰和生态环境制约因素多,正在建设的南水北调中线工程中地下水问题就是影响施工进度和建设成本的主要因素之一。这些新的条件使得围堰及其基坑的渗流场更复杂,对渗流控制的要求更高,有效地实行渗流控制的意义也更大。

本文拟结合已经和正在开展的围堰和基坑渗流控制研究工作,针对渗流场动态变化的特点,提出渗流调控的概念,论述渗流调控的目标和任务,讨论保障渗流调控效果的途径,包括渗流调控的时机与措施。

2 渗流调控思想与目标

2.1 土石围堰与基坑特点

文献[5]对深厚覆盖层上土石围堰的填筑施工、材料和运行条件进行了初步概括,其中一个突出的特点就是围堰和基坑渗流场的边界在不断地变化。与一般工程的渗流控制不同,围堰和基坑渗流场更需要建立动态调控的概念。为了能体现一般性,对于土石围堰和基坑工程的特点进一步概括如下。

(1)围堰基础的复杂性。在水域范围内修筑的围堰工程无法清基,往往以天然松散覆盖层为基础。由于物质来源、形成条件和历史的原因,覆盖层的物质组成和密度差异很大,而且在基坑开挖前的勘探取样和试验难度很大,这决定了覆盖层力学和水力特性研究的难度。甚至在围堰施工过程中,由于水流条件的重大改变,还可能对天然覆盖层造成扰动和级配的变化。在基坑开挖过程中,如果渗流调控不力,还可能由于管涌、基坑隆起、开挖面垮塌和滑坡的发生而造成覆盖层的结构破坏。

(2)水下抛填施工的复杂性。围堰截流戗堤和部分堰体需要在水下施工,为应对深水 and 急流的施工条件,截流戗堤往往通过抛投块石、钢架石笼,甚至预制混凝土四面体形成,存在架空现象和大孔隙;为了形成围堰工程的防渗体,或者需要在水下抛填防渗土料,或者需要抛填控制最大粒径的土料以便于防渗墙施工,抛填过程中可能发生颗粒分选和分离现象,准确预测抛填体的颗粒组成与密度及力学和水力特性的难度很大。

(3)围堰填料的复杂性。大多数围堰工程,尤其是西部高山峡谷地区的围堰工程,一般是采用河床砂砾石料、崩塌堆积体、残积土、岩石风化料填筑;水利水电工程建设会产生大量的开挖弃料,为了减少环境影响和提高土方利用效率,这些开挖弃料往往被大量用于围堰工程,这也使得填筑体的物质组成、密度、力学和水力特性的非均匀性和离散性增强。

(4)施工周期的紧迫性。尽快为主体工程提供可靠的建设条件是围堰填筑和基坑开挖工程的首要

任务,这迫使围堰工程要在短期内完工,使得围堰填筑质量更难以严格控制。

(5)施工进度中运行条件的复杂性。围堰工程建成后要经历基坑开挖和运用过程。基坑开挖揭穿各层覆盖层,甚至是承压含水层,堰体和基坑开挖坡一起形成复合边坡。不仅如此,水利水电工程往往有水电站、泄水闸、船闸等多个建筑物,其总体布置和施工顺序使得基坑的形态、深度和开挖进程都很复杂。这些因素加上围堰上游水位的变化,使得基坑开挖和运用过程中堰体和堰基的渗流场经历复杂的变化,堰体和基坑的渗透稳定、堰基变形和与之紧密相关的围堰结构稳定、防渗体安全也要经受相应的考验。

2.2 渗流调控思想

当围堰已经建成以后,上游河道水位、下游基坑开挖、基坑排水,甚至大气降雨、施工用水、施工动荷载等动态因素时刻在影响着围堰和基坑运行状态和安全性,其根本原因是不仅边界条件在变,而且边界本身也在变,导致渗流场处于不断的变动过程中。正是由于水的流动性,可以及时采取简便有效的措施改变渗流场的分布,以应对未来洪水过程和施工进度计划中围堰和基坑安全的需要,或者扭转围堰和基坑工程已经出现的不利于安全的趋势。这些措施一般包括:基坑超前排水及其调度(包括降水井启用数量、井水位和流量的调整,甚至新增排水井)、基坑内明排水位的控制,基坑内关键部位的反滤料回填(抢险)、上游防渗铺盖的延展和加固、防渗墙的延伸和加固等。这些措施的灵活运用,就是对复杂变化条件下渗流场的动态调节,也是非稳定渗流场的动态控制,所以称作渗流场的调控(Regulation)。它不同于目前水利水电工程设计中通常考虑的渗流场控制(Control)。如果用水头函数 H 表示渗流场分布, $H = F(x, y, z, t)$,区别在于前者包含时间变量 t ,而后者不包括,属于稳定(恒定)渗流场。

渗流调控理论对如下工程具有指导意义:本文重点讨论的基坑和围堰工程,上游水位变化及地震、土坝灌浆加固期间的大坝、堤防工程,渠道水位及水文、气候、地下水位变化条件下的渠道工程,地下水封油库工程,尾矿坝工程,等等。我国正在实施的石油储备战略中,地下水封油库则是通过渗流场的调控来保证石油存、取和水文气候变化条件下石油在地下空间的有效存放,并避免对周围地下水环境的不利影响。尾矿坝往往是在初期坝基础上不断扩建,随着尾矿渣在库内的不断沉积,库内水位不断上

升。为保障尾矿坝安全、控制对水环境造成的污染,渗流控制措施必须随着工程的扩建而跟进,并且根据矿渣排放的调度、洪水预报而进行适当的调度。因此,尾矿坝的扩建和运用过程就伴随着渗流场的调控。

2.3 渗流调控目标

针对土石围堰和基坑工程特点,可以将渗流调控的总体目标设定为:①有效调控堰体、堰基渗流场,保障堰体渗透稳定和堰体结构稳定,以保证基坑开挖施工和永久建筑物施工的安全;②有效调控基坑内的水位和地下水位,尽力提高排水效率,以保障工程工期,降低工程建设成本;③在确保工程安全、有效控制工期和成本的同时,合理控制对周围环境、地面设施和永久建筑物基础的不利影响。

上述 3 个目标可以简单称为安全目标、工期和成本控制目标及环境保护目标。安全是首要目标,是刚性要求;工期和成本控制目标是权衡工程效益和成本后所确定的,因而是相对的,可以调整的。环境保护目标与工程所在地及下游的环境承载能力有关,必须在遵从法律法规,听取当地政府、机构、居民社区的诉求基础上合理确定。针对具体的围堰和基坑工程,必须详细研究确定体现渗流调控目标要求的具体指标和控制标准,据以设计围堰工程和基坑开挖施工方案,尤其是包含在其中的渗流调控措施。

基于上述讨论,可以初步将渗流调控一般性地定义为:为保障工程建设和运行安全,控制工程建设工期,降低工程建设和运行成本,减轻工程建设环境负效应,针对工程及其基础渗流场采取的所有控制、调度和应急调控措施。这些措施包括:在设计阶段布置的渗流控制体系和制定的调度预案,应对工程建设实际进程需要、水文气候条件变化、工程特殊运行和检修工况实行的渗流控制体系调度操作,以及发现工程安全隐患或不利趋势后采取的渗流场应急调控措施。

3 渗流调控时机

围堰和基坑渗流场及时、有效的调控对于围堰工程的运行、甚至成败起着重要的作用,是主体工程顺利建设的重要保障。调控效果取决于 2 个方面:①时机恰当;②措施得当。由于地质条件的复杂性,工程规模和施工强度大,干扰因素多,为提高调控效果的可靠性,时机恰当还应该体现出有一定的超前,措施得当则应该体现出足够充分。

3.1 渗流调控不力的后果

如果错失时机,或者措施不当,围堰和基坑渗流调控就可能失效,可能导致的后果有以下方面:

(1)危及围堰工程和基坑的安全。这可以由渗透水流造成的土体渗透破坏,逐渐扩展至堰基或者堰体,引起围堰的坍塌、溃决;也可以是渗流场与应力场的共同作用,引起堰体边坡或者基坑边坡的滑坡、垮塌。

(2)降低围堰工程的挡水效率。使围堰工程的挡水功能降低甚至丧失,使得基坑排水需要的强度远远超过预期,甚至使排水难以实现,这将严重影响工程工期和成本,甚至迫使大幅度变更渗流调控措施或者工程施工方案。围堰工程挡水功能突然性的变化还可能使基坑水位快速上涨,危及基坑内作业人员和设备的安全。

(3)改变永久工程的地基条件。有些情况下,渗透水流造成的土体渗透破坏虽然没有扩展至围堰及其基础,但是可能造成永久建筑物基础的扰动、甚至塌陷,当没有及时发现而按原设计建设永久建筑物后,将严重影响其安全和有效运行;及时发现并进行有效处理,虽然可以避免后续问题,但必须以补充勘探、变更设计方案、延缓工期和增加建设成本为代价。

(4)环境影响。基坑排水形成大范围的降落漏斗,大幅度的地下水位降落不仅使得附近水塘和供水井水位下降,影响水资源的利用条件,也使得地层的孔隙水压力消散,一定程度的地面沉降难以避免。当地层结构复杂、水平方向的相变造成明显的土性差异,或者地面荷载不均匀分布时,就会形成差异沉降,进而引起道路、防洪工程(堤防)、管道、楼房及其它建筑物的破坏或倾斜。当排水的反滤失效时,地下水位大幅度下降与渗透变形的共同作用,还会造成地面塌陷,使得环境影响更加显著,后果更严重。

围堰工程作为临时工程,其工程等级和设计标准要低于主体工程,甚至一些施工方出于侥幸心理将调控措施打了折扣,或者使其实施过度地让位于基坑开挖总体进度的需要,这在很大程度上增加了上述风险出现的可能性,这使得把握好渗流调控的时机更加重要。

3.2 渗流调控时机分类

围堰和基坑渗流场的调控从时机上可以归为 3 类:

(1)与围堰工程设计及基坑开挖施工设计方案

对应的渗流控制措施及其调度预案。

(2) 适应施工进度计划和预测水文气象条件变化而实施的渗流场控制措施具体调度方案。

(3) 根据工程监测和预警采取的应急调度和抢险、补救措施。

上述第(1)类措施可以通过渗流场的分析论证确定;第(2)类措施,在施工过程中根据施工进度计划和水文气象信息预测渗流场的变化,分析判断围堰和基坑的安全状态,根据需要研究确定并实施;第(3)类措施需要根据工程运行情况和监测信息分析判断其必要性,并研究确定具体的措施。第(1)、第(2)类属于设计阶段预设或者预测工程进度和水文气候条件变化后相应采取的必要措施,统称为预设措施。第(3)类措施不是每个工程都需要,只是在预设渗流调控措施出现失效迹象时,为遏制失效的进一步发展而采取的应急调控措施。所以,第(3)类措施的合理确定与及时有效实施,有赖于预设渗流调控措施失效迹象的早期判别。

3.3 渗流调控失效迹象

预设渗流调控措施失效迹象可以初步归纳如下:

(1) 围堰防渗体前后渗流场水力联系紧密,表现为防渗体两侧测压水位或者渗透压力监测值相近,对围堰上游水位变动反应速度相近。

(2) 围堰下游坡面或者基坑开挖坡面出逸段突然升高,且可以排除围堰上游水位变化、大气降雨等的影响。

(3) 基坑排水量突然增加,且可以排除围堰上游水位变化、基坑挖深增加和施工用水回灌等因素的影响。

(4) 基坑排水含沙量高,尤其是含沙量突然增加。

(5) 堰体变形和周围地面沉降测值出现快速变化,周围出现水井和地表水体水位明显下降、地面裂缝和塌陷、建筑物裂缝或倾斜等现象。

(6) 周围输水、输气管道断裂、泄露,通讯和输电线路损坏等现象。

一旦出现上述迹象,必须及时研究采取合适的应急调度或抢险、补救措施,即应急调控措施,防止围堰和基坑安全状态的进一步恶化。

4 渗流调控措施

如上所述,有效的渗流调控必须做到时机恰当

和措施得当,二者缺一不可。本节按照预设调控措施和应急调控措施分类,有针对性地介绍围堰和基坑渗流调控措施。

4.1 预设措施

预设调控措施包括工程设计中的渗流控制措施及其调度方案。与一般工程一样,围堰和基坑的渗流控制措施也包括防渗、排水和反滤3个大的方面,但具体内容有其自身的特点。

4.1.1 防渗

防渗措施包括堰体防渗和堰基防渗。

有条件的情况下,堰体可以设计为均质土坝或者混凝土坝,自身就具有防渗功能。三峡工程纵向围堰、三期围堰都是碾压混凝土围堰。

平原地区的水利水电工程常常借用已有的堤防工程作为围堰的一部分。例如,前面已经提及的汉江兴隆枢纽工程,以及南水北调中线引江济汉进口段工程。均质黏土堤自身具有防渗功能。

大多数围堰工程,尤其是西部高山峡谷地区的围堰工程,可能是采用河床砂砾石料、崩塌堆积体、残积土、岩石风化物,或硐室等开挖弃料,或者专门爆破开采的碎石料填筑,需要专门设计防渗体才能起到挡水作用。防渗体可以是防渗斜墙或者防渗心墙。

由于施工条件的限制,水下填筑的堰体通常采用防渗墙方案,在堰体填筑到水面以上一定高程后作为施工平台开始水上部分防渗体的施工。

水上部分的堰体可以设置斜墙或者心墙。材料可以采用黏土或者土工膜。斜墙或者心墙与下部防渗墙的有效衔接是确保围堰运行过程中防渗体完好的关键一环。

堰基防渗方案可以采用水平铺盖和垂直防渗2种。葛洲坝大江截流时,上游围堰采用的是堰体、堰基联合混凝土防渗墙方案。针对下游围堰深入研究了黏土斜墙接水平铺盖及黏土斜墙接混凝土防渗墙方案,研究结果表明55m宽的铺盖就可以满足基础防渗的要求。下游围堰实际施工的是宽体斜墙坝,其成功运行也在一定程度上验证了铺盖方案的可行性^[2-3]。

大多数围堰基础防渗采用的是垂直防渗方案。堰基防渗墙可以与堰体防渗墙联合设计为一体,一次建造完成,从而减少防渗体的衔接,有利于提高工程的可靠性,也减少施工工序和成本。根据基础防渗标准确定基岩垂直防渗体的底线。当底线较深,或者底线以上岩体较坚硬,无法施工防渗墙时,常常针对基岩进行帷幕灌浆,与上部防渗墙衔接形成整

体。

水利水电工程垂直防渗的大多数施工方法^[6]都可以用于围堰及其基础防渗墙的施工。只是由于第2节所述围堰和基坑工程的特点决定了防渗墙可能会承受复杂应力,也可能发生较大的变形,一般不适合采用薄墙方案。为了控制防渗墙的结构变形,保障结构安全,深入研究防渗墙材料和结构形式是防渗墙合理设计的重要基础^[5,7]。

4.1.2 排水

围堰防渗体下游侧堰体选用透水性较强的材料,可以加强堰体的排水,降低堰体内的自由面 and 下游坡的出逸段,提高堰体边坡的结构稳定性;同时降低堰体和堰基的出逸比降,保障渗透稳定。

基坑降水有明排和井排2种方式。明排适用于排水量不大、渗透稳定性较好的基坑地层结构和土性条件,或者以防渗为主要渗控措施,防渗体沿围堰轴线形成圈体,并在深度方向为全封闭结构的基坑。

在有些地层结构和土性条件下,开挖面容易发生渗透变形。如,粉细砂容易发生流土变形;级配不连续的砂砾石容易发生管涌变形;多层结构覆盖层中承压含水层,在开挖削弱含水层顶板至一定程度后,可能发生抗浮稳定问题,表现为基坑突涌。这些条件下,需要采用井排方案实行超前排水,使基坑开挖得以在干地施工。

由于现行工程概算制度的原因,水利工程基坑排水的费用被笼统地归为临时工程费用计列,这往往使得基坑排水费用难以满足纯降水方案实施的需要,迫使工程设计和施工企业偏向于采用垂直防渗方案。汉江兴隆枢纽工程基坑、南水北调中线穿黄隧洞竖井基坑、穿漳工程基坑都曾经研究采用降水方案,但最后实施时都转而采用了垂直防渗方案。南水北调中线补偿工程——引江济汉进口段基坑工程设计阶段对纯降水方案进行了深入研究,包括基坑总降水量、基坑降水井布置、不同施工阶段降水井的调度运用方案,并与垂直防渗方案进行对比,说明了降水方案的可行性及其对比优势。工程各方人员经过深入讨论后最终选择实施了纯降水方案,在委托长江科学院进行第三方监测、监控后,通过灵活调度既保证了降水效果,又有效地控制了降水工程费用。目前,该基坑工程已经顺利经过一个汛期的考验,正在安全运行,这是旁河超大型基坑采用纯降水方案的一个成功实例,也在一定程度上促成了该工程出、口段基坑,以及其通航工程进出口段基坑选择并实施了纯降水方案。

降水井是最利于实现调度的渗流调控措施。不

仅通过已布置降水井的启、停用,以及抽水量和水位降深的调整可以实现对渗流场的调控,而且因为降水井施工成本较低、施工周期短、占用场地小、调度运用便利,可以随时增补降水井,完善降水井的布置,从而达到调控目的。随着基坑开挖深度的增加,在基坑内增补实施少量浅井就能达到良好的调控效果。

4.1.3 反滤

围堰的截流戗堤部分是通过抛投块石、钢架石笼,甚至预制混凝土四面体形成,往往存在架空现象和大孔隙。为了便于防渗墙的施工,其上游堰体需要采用控制最大粒径的土料填筑。堰体与截流戗堤之间孔隙性和水力特性上存在明显的差异,需要设置反滤区实现水力过渡,并对堰体起反滤保护作用。如果堰体采用黏土心墙或者斜墙防渗,更需要在其下游侧设置反滤保护层。

当堰体下游坡脚或基坑开挖坡有渗透水流出逸时,适当地设置反滤防护层,可以防止渗透变形,维护堰体和开挖坡的渗透稳定。

当采用明排方案进行基坑排水时,需要对集水沟、井进行适当反滤,防止排水带砂,引起地层的渗透变形。

当采用井排方案进行基坑排水时,需合理设计排水井结构,通过有效的反滤防止排水带砂和地层中土颗粒的大量流失。

4.2 应急措施

当预设调控措施出现第3节所述失效迹象时,必须及时采取应急调控措施遏制其进一步发展,维护围堰和基坑工程的安全。

根据渗流调控失效迹象的不同,可采取的应急调控措施包括:

(1)在确保排水井反滤结构合理有效的前提下,加大排水井抽水流量,增加启用排水井,甚至增设排水井,以更大的群井排水能力降低堰体和基坑坡面的出逸段、出逸比降,以及基坑底的出逸比降或者坑底弱透水层承受的水压力。

(2)减少、甚至停止基坑明排排水,基坑水位上升后可以起到反压作用,如果有管涌则必须参照堤防工程的管涌抢险进行处理,以应对渗透变形引起的堰体、堰基和周围地面不均匀沉降、塌陷现象。

(3)封堵反滤失效的排水井,新设严格执行反滤结构要求的排水井,以遏止降水井反滤结构被击穿而导致的渗透破坏。

(4)对堰体坡脚或基坑坡脚采用块石、碎石或砂卵石回填进行镇脚防护,以扩大堰体断面,或改变

坡比,或加强反滤,以应对坡面出逸段突升、渗透破坏或者边坡失稳现象。

(5)通过灌浆修补防渗体,或者增设、延伸防渗墙。

(6)通过上游抛投土料,延伸或者加固防渗铺盖。

合理使用上述措施,可以在一定程度上遏制渗流调控失效后果的进一步发展,在分析失效现象严重性基础上,还可能要采取的其它措施包括:

(1)放缓基坑开挖进度,甚至停止开挖。

(2)针对地面裂缝和塌陷,建筑物裂缝或倾斜,输气、输电线路损坏等现象,按照相应行业的要求及时采取加固、更换、拆除重建等措施。

(3)划定工程和环境影响范围,根据需要采取警戒或撤离措施,限制、甚至禁止人流、交通以及其它生产和社会活动。

(4)加强围堰和基坑渗流场及变形监测,密切监视基坑涌水量、水流浑浊情况,及时分析渗流调控效果及其发展趋势,研究进一步采取的处理措施。

在采取应急措施取得预期效果后,重新恢复基坑开挖施工时必须加倍谨慎,严格控制基坑积水抽排的进程,使基坑水位保持适度的缓慢下降,防止已有渗透破坏区域和已扰动的土体再次发生渗透破坏和垮塌现象。同时,必须针对工程永久建筑物基础进行补充勘探,分析地基扰动程度和范围,研究采取必要的地基处理措施。

4.3 工程实例

黄河干流某枢纽工程围堰基础采用悬挂式防渗墙方案,基坑完全采用明排方式排水,当基坑开挖至泄水闸坝段要求的深度时,情况显示正常;当厂房坝段基坑继续加深开挖到一定深度后,基坑涌水出现浑水,且浑水点不断增多,范围增加,厂房坝段开挖区及已开挖完工的泄水闸坝段尾水工程区出现多处塌陷坑,甚至右岸城市道路出现直径约4 m、深约10 m的塌陷坑,道路被迫禁行,临近的天然气管道安全受到威胁,不得不停止基坑排水和厂房坝段基坑的开挖。

业主邀请有关专家研究对策,专家建议的应急措施包括:立即对基坑内的渗透破坏部位(管涌口)采用滤料回填等抢险措施,回填城区道路塌陷坑,对塌陷坑附近的天然气管道基础进行加固;对临近厂房区坝肩及邻近的城区,以及泄水闸和厂房坝段尾水工程区进行勘探,查明隐伏塌陷区和土体扰动区域,研究布置防渗墙和灌浆帷幕方案截断渗透破坏通道,布置灌浆方案充实土体塌陷和松动区域,或者

布置强夯、桩基方案加固地基;弃用基坑明排降水方案,研究布置降水井群,实施基坑开挖的超前排水,使基坑内达到干地施工条件;为恢复基坑开挖施工,必须先行启用降水井降水,然后在严格控制基坑水位降落速度条件下抽排基坑积水。

实施过程中仍然出现了基坑涌浑水的现象,其原因可能包括:管涌险情处理不到位;群井降水不及时;基坑积水抽排过快。这一工程实例充分说明了渗流调控的重要性;如果预设措施失效,需要采取应急措施时,代价会很大,但是只有及时、合理地采取应急措施才能相对地减少工程建设投资和工期的损失,减少社会和环境影响,避免生命和财产损失。

5 结 语

(1)总结围堰与大坝的差异体现在:围堰的施工条件远远不同于大坝,决定了围堰具有不同的基础条件、堰体结构形式、适用材料和建筑质量;基坑开挖是对围堰运行条件和渗流场边界不断改变的过程,决定了堰体和堰基的渗流场将经历更复杂的变化。

(2)围堰和基坑的安全依赖于对渗流场及时、有效的调控,以应对复杂水文、气象和施工过程带来的考验,甚至及时遏制调控失效迹象的发展。

(3)渗流调控措施包括渗流控制措施及其调度方案(统称预设措施),以及应急调控措施。

(4)渗流场应尽可能通过预设措施得到有效调控,一旦预设措施失效,应急措施虽然有代价,但是非常必要,而且越及时越能避免更大的损失。

(5)与传统渗流场控制理论相比,渗流场调控理论充分考虑了渗流场在各种因素影响下的动态特点。针对每个工程应该制定具体的调控目标,在工程设计、施工和运行的全过程中布置和实施及时、有效的调控措施,以达到保障工程安全、控制工期和成本、减轻环境负效应的总体目标。渗流场调控不仅对于基坑和围堰工程,对于其它涉水工程及与地下水有关的工程都具有重要意义。

参考文献:

- [1] 郑守仁,杨文俊. 河道截流及在流水中筑坝技术[M]. 武汉:湖北科学技术出版社, 2009. (ZHENG Shou-ren, YANG Wen-jun. Technology of River Closure and Cofferdam Construction in Flowing Water[M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2009. (in Chinese))
- [2] 曹敦履. 葛洲坝工程大江围堰地基渗流控制[J]. 水

- 利学报, 1988, (2): 49 – 55. (CAO Dun-lv. Control of Seepage Field in the Foundation Beneath Cofferdam of the Main Yangtze Stream for Gezhouba Project[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1988, (2): 49 – 55. (in Chinese))
- [3] 李思慎. 葛州坝水利枢纽大江下游围堰渗流研究的回顾与展望[J]. 人民长江, 1986, (11): 37 – 42. (Li Si-shen. Review and Prospects of the Studies on Seepage Field in the Downstream Cofferdam of the Main Yangtze Stream for Gezhouba Project[J]. Yangtze River, 1986, (11): 37 – 42. (in Chinese))
- [4] 李思慎, 吴昌瑜, 任大春. 三峡工程二期围堰渗流问题研究[J]. 长江科学院院报, 1997, (4): 66 – 69. (Li Si-shen, WU Chang-yu, REN Da-chun. Study on Seepage Problems of TGP's Second Stage Cofferdams[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1997, (4): 66 – 69. (in Chinese))
- [5] 张家发, 李少龙, 潘家军, 等. 深厚覆盖层上土石围堰渗流控制体系及结构安全研究[J], 长江科学院院报, 2011, (10): 122 – 126. (ZHANG Jia-fa, LI Shao-long, PAN Jia-jun, *et al.* Seepage Control System and Structure Safety of Rockfill Cofferdam on Thick Overburden[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, (10): 122 – 126. (in Chinese))
- [6] 张家发, 李思慎, 王文新. 长江重要堤防垂直防渗工程[J]. 人民长江, 2002, (8): 37 – 39. (ZHANG Jia-fa, LI Si-shen, WANG Man-xing. Vertical Seepage Control Works of Important Dykes along the Yangtze River[J]. Yangtze River, 2002, (8): 37 – 39. (in Chinese))
- [7] 包承纲. 二期围堰若干关键技术问题的解决[J]. 中国三峡建设, 1999, (5): 32 – 36, 39. (BAO Cheng-gang. Tackling Key Technology Issues in Stage II Cofferdam Construction[J]. China Three Gorges Construction, 1999, (5): 32 – 36, 39. (in Chinese))
- [8] 定培中, 肖利, 李威, 等. 深厚透水性地层中大型深基坑降水方案设计探讨[J]. 长江科学院院报, 2012, (2): 46 – 50. (DING Pei-zhong, XIAO Li, LI Wei, *et al.* Design of Dewatering System for Deep Excavation Pit in Thick Permeable Strata[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, (2): 46 – 50. (in Chinese))

(编辑: 姜小兰)

Seepage Field Regulation for Rockfill Cofferdam and Foundation Pit

ZHANG Jia-fa^{1,2}, LIN Shui-sheng^{1,2}, WU De-xu^{2,3}, ZHANG Wei^{1,2}, LI Shao-long^{1,2}

(1. Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of Ministry of Water Resources, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. National Research Center for Dam Safety Technology, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 3. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: The characteristics of cofferdam and foundation pit were analyzed. On this basis, the concept of seepage field regulation was put forward for cofferdam and foundation pit. The regulation aims at safety, construction period and cost control, as well as environment protection. It is emphasized that the efficiency can only be guaranteed by adequate and proper regulation measures at the right moment. The regulation measures were classified as preinstalled and urgent ones according to the time to take. Pertinent regulation measures and application conditions were presented. Furthermore, the importance of urgent measures when preinstalled measures failed was illustrated by an engineering example. The dynamic characteristics of seepage field corresponding to many factors were taken account into the seepage field regulation theory. With this theory, prompt and effective regulation measures would be arranged and fulfilled in the whole process through work planning, construction and operation to achieve aims inclusive of guaranteeing engineering safety, controlling construction period and cost, and mitigating negative effects on environment. Seepage field regulation theory is significant for all engineering involving surface and subsurface water.

Key words: cofferdam; foundation pit; seepage field; regulation; safety