

② 长江三峡工程一期施工重大技术问题及其解决措施

周厚贵

(中国葛洲坝集团公司 宜昌 443002)

TV632.5

TV551

摘要 通过对长江三峡工程一期施工中的围堰填筑石料开采、围堰水下填筑的程序优化、围堰防渗结构的改进、导流明渠清淤的提前施工、箱涵混凝土的快速浇筑和隔流堤的水下清淤手段等重大技术问题及其解决措施的叙述,展示在一期工程超常规施工条件下技术问题的深度和难度,给出了各项技术问题的具体解决措施和实施效果。

关键词 三峡水利枢纽 施工技术 水下填筑 围堰 防渗结构 导流明渠 清淤 箱涵

三峡工程位于长江三峡西陵峡内,距下游已建的葛洲坝水利枢纽 37 km。枢纽工程由拦河大坝及泄洪建筑物、水电站及通航建筑物等组成,大坝坝顶全长 2335 m,坝顶高程 185 m,正常蓄水位 175 m,水库总库容 393 亿 m^3 ;电站装机 26 台,总容量 18200 MW,年发电量 847 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

三峡工程共分三期施工,包括准备工程在内,全部完建的总工期最后审定为 17 年(即准备期和一期合并为 5 年,二期和三期分别为 6 年)。工程施工的主要特征表现为:工程量巨大,施工强度极高,工程范围宽,场地分割,施工干扰多,技术要求严格,工序错综复杂,等等。

三峡工程一期施工的主要项目包括:左岸永久船闸、临时船闸升船机以及厂房 1~6 号机组的开挖、临时船闸升船机的混凝土浇筑;右岸一期围堰和导流明渠施工、混凝土纵向围堰浇筑、茅坪溪泄水建筑物施工、茅坪溪防护大坝的填筑等。由于这些项目分布面宽,施工阵线狭长;又由于在施工工期上,将施工准备期和一期工程合并为 5 年,致使许

多准备工作如征地移民、水、电、道路、通讯、场地平整、石料场、弃渣场等不能满足施工的要求,给一期工程施工带来了极大的困难。正是在这种超常规的特殊条件下,使得施工中的技术难题变得更多、更大、更复杂,解决的难度更高。为此,本文拟就三峡一期工程施工到现阶段止所出现的一些重大技术问题及其解决方法作一简介。

1 围堰填筑的石料开采

三峡工程一期围堰布置在长江右岸,设计堰顶全长(包括下横延长段)2649 m,堰顶高程 79~80 m,土石结构,防渗体为柔性材料防渗心墙、土工织物与灌浆帷幕或高喷墙的结合体。一期围堰围护的基坑面积为 7.5 万 m^2 。施工工程量为土石方填筑 324.7 万 m^3 ,其中块石和石渣填筑量为 180.87 万 m^3 ,水下清淤 30.14 万 m^3 ,冲击钻造孔防渗墙 5 万 m^2 。

面对 180 多万 m^3 的块石和石渣填筑量,显然石料的料源、开采、装运等成了极其重要的问题。根据设计提供的方案和资料,共规划了导流明渠和石板溪两个主料场。然而,

作者简介:周厚贵,男,博士,高级工程师,中国葛洲坝集团公司副总工程师,从事水工结构及施工工艺及管理研究,曾发表《三峡工程混凝土纵向围堰施工的随机模型研究》等论文。

在实际开采中,导流明渠料场由于覆盖层太厚,难以见到岩石;而石板溪料场运距又较远,且道路狭窄,开采和运输都十分艰难,无法满足围堰的填筑需要。两个主料场相继落空。

在这种情况下,葛洲坝集团公司迅速组织了对围堰附近3 km以内的偏岩子以及关门洞等新料场的察勘,经过覆盖层剥离和试钻孔,探明这几个料场都具有一定的石料储量,可供开采。

在料场开采的施工方法上,经过研究比较,选取了以硐室爆破为主的开采方案。硐室的平面布置形式多采用“干”型或“T”型,主、支洞的开挖断面均为1.2 m×1.6 m,药室断面尺寸为2 m×2 m,平洞纵坡0.5%~1%,以利排水和除碴。硐室的装药量按条形药包公式计算:

$$q = \frac{2f(n)}{n+1} K\omega^2 \quad (1)$$

堵塞方式采取先用编织袋装风化砂将药室封闭,然后堵塞支洞,最后全部封闭主洞,并特别注意主洞洞口的堵塞。起爆网络采用电爆网络或导爆索网络,起爆分段根据硐室爆破的平洞结构布置和总装药量的具体情况而定。在一期围堰石碴及块石的填筑过程中,共在上述料场中进行了12次硐室爆破,开采石料近

100万 m^3 ,一次爆破总装药量为5~43 t不等,一次爆落方量0.8~7万 m^3 ,块石获得率达30%~45%,无安全事故,效果良好。

石料的装运手段主要采用4 m^3 电铲、液压反铲或装载机配大型自卸汽车。在装车时,利用电铲、反铲或装载机在料场进行石料分选,以便将分选的石碴和块石分别填到相应的设计断面上,保障围堰块石和石渣填筑料的粒径要求。

2 围堰水下填筑程序的优化

一期围堰标准剖面设计为如下型式:在迎水面和背水面底脚各布置一个等腰梯形的石碴堤,在迎水侧石碴堤外侧,设有5~10 m厚的防冲块石,在两道石碴堤中间是风化砂堰体,呈梯形断面。其标准断面如图1所示。

根据设计提出的一期土石围堰施工技术要求和葛洲坝集团公司所拟定的围堰施工技术措施,围堰迎水侧石碴堤水下抛填的施工程序与方法如下:水面线以下不分层,一次填筑、碾压;水面线以上分层碾压。水下的石碴填筑要求先形成一个稳定的石碴堤断面,以利上铲扬挖泥船或其它挖淤设备到石碴堤迎水面进行堰基水下清淤。为了使清淤能够彻底,要求清淤时向已填的石碴堤挖进1 m,待清淤完后再加填石碴堤到设计断面。这一方

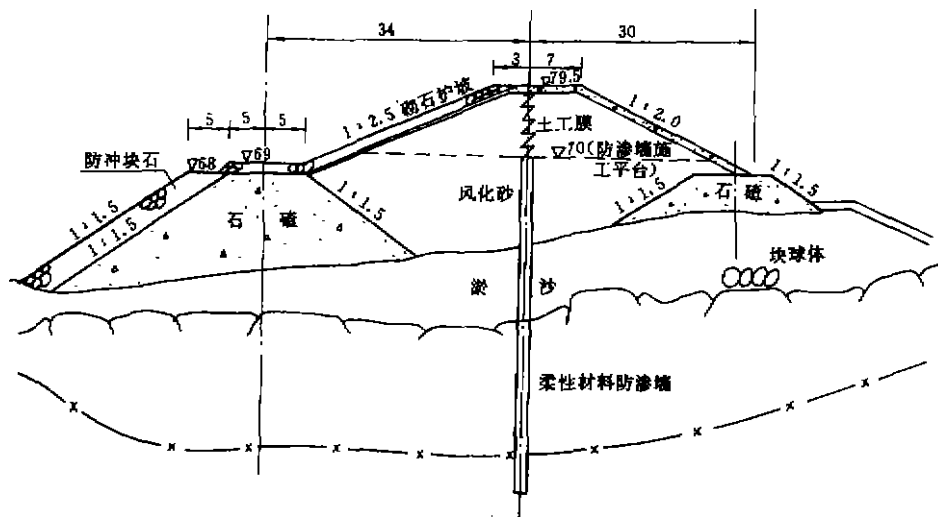


图1 一期土石围堰典型断面(单位:m)

案的施工程序复杂,占用工期较长,而且还将有几万立方米石碴要在清淤中挖走后复填,造成多用几万立方米石碴料。

针对当时的施工条件,特别是在围堰开始填筑后,工期和石碴料源都十分紧张的情况下,进行水下填筑程序的优化有着十分重大的意义。要优化程序,关键是要看挖淤工作面能否在水下站得住。为了解决这一问题,在围堰上横段2号点上游左侧进行了铲扬挖淤试验。

试验部位淤泥浸没于水下,淤泥的构成和边界条件与围堰水下清淤部位相同。通过挖淤试验我们发现,回淤稳定的粉细沙淤泥,在水下开挖中,工作坡度可形成陡坡,甚至能与地面垂直,但经过几天的时间后,坡度逐渐变缓,最后达到1:6至1:10的理论坡度时稳定。由此,可采取先直接清除淤泥,在挖淤的开口边坡尚处于陡坡状态时,随后跟进石碴堤的全断面填筑方法,即采取所谓“一步到位法”施工。

在一期围堰水下填筑程序经过上述优化后,按“一步到位法”进行了实施。在围堰的上游横向段,采用铲扬从右向左挖进,石碴堤紧随其后填筑,根据跟进验收和最终验收的结果,表明“一步到位法”施工完全满足设计的质量要求。

3 围堰防渗结构的改进

右岸一期土石围堰的防渗结构设计为:在70~74 m高程以下为冲击钻造孔浇筑柔性材料防渗墙,70 m高程以上为土工布织物的形式。防渗体总面积 9.7万 m^2 。

围堰防渗墙施工具有下述特点:①工程量大,整个防渗体施工战线较长;②工期短,强度高,从造孔平台拿出来到防渗墙施工完后交回平台,工期只有2~3个月时间,月强度高达 1.5万 m^2 ,施工主要机具冲击钻不得不由施工组织设计时的70台增加到实际所投入的112台;③防渗墙基础部位地质情况复杂,给造孔施工、终孔验收和质量控制等都带来较大难度。

在实际施工中,造孔经常遇到风化块球

体,不仅进尺缓慢,有时1台钻工作1个班仅钻0.2 m,效率低,耽误直线工期,而且还很难保证终孔质量。特别突出的是在3'~5点范围的防渗墙基础,礁石密布,块球体叠障,条件极为复杂。加之围堰填筑的工期如此之紧,因此,十分有必要对防渗结构设计加以改进。

经过工程建设、设计、监理和施工单位的共同分析论证和现场帷幕灌浆试验,最后提出了下述两项防渗体结构改进:

a. 对于冲击钻钻孔难以判断其是否终孔的部位,当连续3个台班进尺均不超过0.2 m时即终孔,然后浇筑柔性材料防渗墙。当防渗墙经过一定龄期达到一定强度之后,再对防渗墙体下部进行帷幕灌浆,即形成柔性材料防渗墙与帷幕灌浆相结合的“墙幕结合”形式。这种形式利用帷幕灌浆的速度快、质量可靠特点,弥补了冲击钻造孔防渗墙在遇到复杂地质情况时的弱点和不足。

b. 对于3'~5点的特殊情况部位,采取在柔性材料防渗墙两侧下部进行高压旋喷的旋喷桩防渗墙结构形式,即形成“墙喷结合”。这种形式以高压旋喷对复杂的地质情况的有效处理确保了防渗体的防渗质量。

在一期围堰的防渗墙施工中,采用“墙幕结合”的方式对3'~10点的117个槽孔段进行了施工,帷幕钻孔灌浆总进尺3500余m。施工采用快速钻或岩芯钻钻孔,孔径91 mm。与此同时,采用“墙喷结合”的方式对3'~5点的5个槽孔段的底部残积块球体地带进行了处理,在柔性材料防渗墙两侧布置两排旋喷孔,每排56个孔。一般旋喷墙高7~10 m,旋喷墙总面积 420 m^2 。旋喷施工所采用的高压水为25~32 MPa,压缩空气为0.5~0.7 MPa,浆压为0.5~0.6 MPa,提升速度为5~10 cm/min,旋转速度为5~8 r/min。

4 导流明渠清淤的提前施工

右岸一期导流明渠设计清淤总量 757万 m^3 。如此巨大的挖淤工程量如果要等到一期围堰基坑闭气抽水后再进行施工,势必

会占据大量的直线工期;而且淤泥在陆上开挖运输会沿路抛洒,施工现场很不文明。为此,承担施工的葛洲坝集团公司早在一期围堰刚刚开始正式填筑的时候,就超前考虑到了淤泥的清除施工措施,并抓住时机,在取得业主、监理、设计和航道等部门的同意后,提前组织了多种形式的挖淤清淤方案并加以实施,取得了良好的效果。

首先,在围堰石碴堤还未合龙之前,将铲扬挖砂船和 750 m³/h 采砂船等设备开到导流明渠清淤部位,进行大规模的水下挖淤。所开挖的淤泥采用泥驳运至围堰下游河道深泓部位抛弃。该项挖淤措施从 1993 年 10 月份起,到 1994 年 1 月围堰石碴堤闭合时结束。

其次,采用吸泥泵清淤。吸泥泵清淤是利用高压水枪将淤泥搅混,然后利用泥浆泵抽出搅混物,再通过输送管道将淤泥排至主河槽的一种简便、有效的清淤方法。这种清淤方法在黄河的清淤中曾大量使用并积累了丰富经验。经过在导流明渠清淤部位进行排淤试验表明,抽淤的含砂浓度可达 30% 以上,据此,单台 PHK-20 型泥浆泵月产量可达 9 万 m³。该项施工方法在明渠上、下游淤泥部位均得到了采用,施工时段从 1994 年 2 月至 1994 年 7 月结束。

导流明渠各部位在采用上述两项挖淤排淤措施后,共提前挖除淤泥 200 余万 m³,实施效果良好。

5 箱涵混凝土的快速浇筑

箱涵是右岸一期工程茅坪溪泄水建筑物的重要组成部分,它上接茅坪溪泄水建筑物的隧洞出口,下连出口明渠,全长 1 100 余 m。整个箱涵建筑物共分 98 块,块与块之间设有止水,标准块每块长 12 m,设计成钢筋混凝土结构。其典型断面形式如图 2 所示。

箱涵混凝土浇筑的每块分仓均按四仓考虑,第一仓为基础垫层或填塘混凝土;第二仓为箱涵底板,浇筑至下部拐折角的上口;第三仓为箱涵侧墙,共四面墙体;最后一仓是箱涵

顶板,三连孔一次封顶浇完。因此,整个箱涵共有浇筑仓位 392 个。如果采用传统的满堂脚手架的方法是难以满足工期要求的。

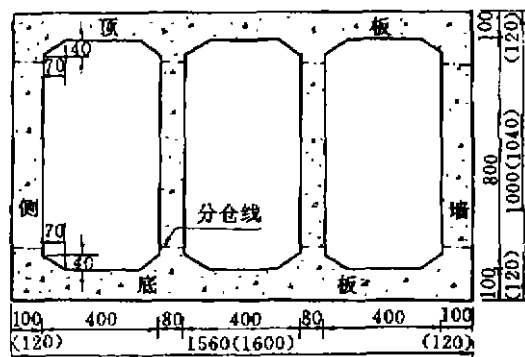


图 2 箱涵典型断面形式(单位:cm)

为此,我们抓住箱涵混凝土浇筑中模板架立这一关键工序,开展攻关,迅即形成了箱涵混凝土浇筑的主动局面。首先,在箱涵侧墙的浇筑上自行设计、加工制造了大型侧模台车,该台车 2 台组成一套,同步布置于箱涵左、右侧孔内的台车轨道上。在每台台车的台架两侧,分别悬吊两块 12 m × 6 m 的平面大模板,走到浇筑仓位后,以对拉的形式固定到位。立模后即进行侧墙浇筑,待浇筑的侧墙达到规定龄期后,进行侧模整体拆除,再将台车移到下一个仓位定位浇筑。其次,在箱涵顶板的浇筑上,成功地应用了大型顶模台车。该台车 3 台组成一套,同时布置于箱涵 3 个孔内的台车轨道上,其顶模面板(包括上拐折角面板)安装于台车构架的顶面。台车走到浇筑部位后,通过台车构架与模板支撑架之间的液压千斤顶将顶模调试到位,顶板混凝土浇筑完成后,松开液压千斤顶,整个顶模即被撤下来,然后再移到下一个仓位浇筑。

在茅坪溪泄水建筑物箱涵混凝土的浇筑中,共制作并采用了侧模台车和顶模台车各 5 套。以占用直线工期的箱涵顶板浇筑为例,在顶模台车投入应用后,仓位周转时间仅为 6.5 d,比常规方法提高工效 35%。

6 隔流堤的水下清淤方法

三峡工程左岸下游航道隔流堤回填部位

的基础清淤工程量为 400 余万 m^3 , 最大清淤深度达 24 m。

隔流堤的水下清淤施工具有以下特点:

①工程量大, 清淤强度高, 若按从 1994 年 10 月开始到 1995 年汛前清完的工期考虑, 平均月强度高达 45 万 m^3 左右; ②水下地形复杂, 隔流堤所处的部位, 暗礁丛生, 槽缝密布, 水下情况繁杂, 给清淤施工带来了较大难度; ③深水作业量大, 在水下清淤施工中, 通常把水深 15 m 以内的作为一般水下作业, 15 m 以上则属于深水施工。隔流堤在 15 ~ 24 m 范围的深水清淤工程量约 50 万 m^3 。正是由于上述各项特点, 使得隔流堤水下清淤施工的方法和手段成为高难度的研究课题。

根据多种施工方案的比较和论证, 对于水深在 15 m 以内的一般清淤, 主要采取了以下几种手段: ①利用葛洲坝集团公司现有的日本进口 4 m^3 铲扬挖砂船, 其水下作业深度为 15 m, 如果加长斗柄, 其深度可增大到 18 m, 铲扬挖除的淤泥用泥驳装运抛至长江深泓; ②利用目前长江河道疏浚中使用得较多的 400 m^3/h 绞吸式挖泥船, 直接将淤泥清除至长江深泓; ③利用葛洲坝集团公司闲置的浮吊船或类似船只作为底座, 将其改装成

简易吸泥船, 这种简易吸泥船是在船的头部安装一组(2 个)活动式真空吸泥头, 通过从吸泥头处给进的压力风和压力水, 使管内形成真空负压, 从而将淤泥清除。这种方法和手段同样也能适用于深水清淤。

在水下深度大于 15 m 时, 采用了下述两种清淤手段: ①利用铲扬或其它船只改装成挖泥船, 配备 5 m^3 抓斗, 进行深水抓挖, 所挖除的淤泥用泥驳装运抛至长江深泓; ②利用上述革新改造的简易吸泥船作为深水清淤的辅助手段。

经实际实施, 上述各种清淤方法和手段成效显著。清淤工期比合同工期提前了整整 9 个月。

7 结 语

本文对三峡工程一期施工到目前阶段为止的一些主要重大技术问题及其解决措施和效果进行了叙述, 也是对三峡工程开工以来施工过程中出现的一些重要技术问题及其处理的一个概括性的回顾。随着三峡一期工程和后期各项施工的全面展开, 在工程施工中还将有更多、更复杂的技术问题有待我们去解决、去攻克。(收稿日期: 1996-06-24 编辑: 马敏峰)

· 简讯 ·

江苏省水利系统送技术下乡成效显著

江苏省水利系统积极贯彻水利部党组指示精神, 组织万名水利科技人员下乡, 几个月来为基层服务, 为民办实事取得初步成效。省水利厅党组先后专门召开会议, 研究落实科技下乡计划, 并在淮阴、宿迁两市分别召开了水利科技下乡动员会和科技下乡系列活动现场示范观摩会, 使这一活动开展得既轰轰烈烈, 又扎扎实实。江苏省的主要做法是: ①狠抓培训。为把水利科学技术普及到千家万户, 落实到村组田头, 全省把培训重点放到基层和乡村干部群众。全省水利系统层层举办培训班, 已举办了节水灌溉、水产养殖等技术培训班 423 期, 培训各类技术骨干近 2 万人。盐城市以推广水稻高产节水灌溉为重点, 先后举办了 200 余期技术培训班, 培训了农民和种粮大户 1 万多人次。②强化推广。在科技下乡活动中, 江苏省共选择了 11 项实用技术, 作为全省推广的重点, 并将节水技术、中低产田改造、泵站节能改造列为推广项目的重中之重。全省已落实水稻节水灌溉面积 43.3 万 hm^2 , 兴建防渗渠道 1200 km, 改造中低产田 80 万 hm^2 , 改造泵站 6 万 kW。③典型示范。江苏省充分利用本省科研单位、大专院校和水利部门的技术优势, 坚持典型引路, 广泛建立示范点, 使之成为普及推广先进适用水利技术的载体。常州市围绕小流域综合治理、水库养殖等推广项目, 建立了 22 个技术示范点, 组织乡村干部到技术示范点参观、交流, 收到了很好的效果。徐州市为推广水稻节水灌溉技术, 由市县水利局技术人员深入现场, 蹲点指导, 在 6 个县建立了 800 hm^2 的技术示范点, 做到学有榜样。④开展咨询。利用农村集市, 组织水利技术人员举办科技集市, 现场解答农民关心的技术难点。(本刊编辑部稿)