

文章编号: 1672-3031(2008)01-0023-04

# 重庆鱼洞长江大桥主桥墩围堰防渗支护施工技术

符平, 杨锋, 赵卫全, 张金接

(中国水利水电科学研究院 工程安全监测中心, 北京 100044)

**摘要:**重庆鱼洞长江大桥为连续跨梁结构, 其主桥墩 14<sup>#</sup>、15<sup>#</sup> 墩位于长江主河槽左右侧, 桥墩基础采用低桩承台, 承台底部位于枯水位以下 7.0m 左右, 需要填岛和施工围堰才能进行承台的开挖和浇筑。在河中央的土石围堰中为了形成可开挖的基坑, 防渗和支护是相辅相成的两个关键因素, 由于土石围堰存在严重的架空结构和流动水, 防渗支护难度较大。本文研究了膏浆性质, 并根据鱼洞大桥桥墩的地质条件, 详细讨论了速凝膏浆结合稳定浆技术的运用、施工工艺和效果评价, 为动水下块石架空桥墩土石围堰进行防渗支护提供了一种有效、经济的施工技术。

**关键词:** 动水; 块石架空; 土石围堰; 速凝膏浆; 防渗支护

中图分类号: TV223.4

文献标识码: A

在大江大河上修建的桥梁, 其桥墩基础一般采用桩基础, 为减少振动和改善桩基的受力特性, 常采用低桩承台, 承台底部位于基岩中。重庆鱼洞长江大桥为连续梁结构, 最大跨度 265.0m, 是目前国内第二长跨度大桥, 其主桥墩 14<sup>#</sup>、15<sup>#</sup> 位于长江主河槽两侧, 横跨长江, 桥墩基础均采用低桩承台, 承台底部位于枯水位以下 7.0m, 承台入岩 2.0m, 需要在水中填筑施工岛, 以保证承台施工和桩基施工。施工岛紧挨长江主河槽, 水流速度较大(大于 5m/s), 且深度变化剧烈, 在筑岛过程中, 抛填了大量的块石, 最大块石直径可达 2.0~3.0m, 块石无序抛入河槽, 极易形成架空结构, 且位于主河槽部位, 架空结构中还存在一定的流速。据勘探资料, 填岛下部原河床砂砾石层厚度约为 6.0~8.0m, 主要含有较大卵石、砾石, 160mm 以上的石块含量高达 60% 以上, 透水性较强, 可达到  $10^{-1}$  cm/s 的量级, 属于强透水地层; 下卧基岩为砂岩, 上部 3.0~4.0m 风化严重, 节理裂隙发育, 为强风化地层, 抽水试验结果表明砂岩渗透系数  $k = -2.33$  m/d, 为中强度透水地层。为进行承台施工, 在桩基完成后, 需进行基坑开挖, 再在基坑内进行清理桩头、埋设钢筋、承台浇筑和墩身浇筑等工序。

## 1 常用围堰型式

为避免进行水下施工, 需要设置挡水围堰, 以保证进行正常的基坑开挖和混凝土浇筑。挡水围堰主要有吊箱钢沉井围堰、板桩围堰、草土围堰、钢筋混凝土沉井围堰和土石围堰。

(1) 吊箱钢沉井围堰。吊箱钢沉井围堰是采用纯钢材在陆地制作成封闭的桶形结构, 通过水上吊装到位、采取相关止水措施、浇筑水下封底混凝土后再排水进行承台作业, 主要在水位较深(>10m)的高桩承台(承台底部位于基床以上)。

(2) 钢筋混凝土沉井围堰。钢筋混凝土沉井在施工期间是一个上无盖、下无底的筒状结构, 在其井壁的挡土和防水的围护作用下, 从井内取土, 借其自重使之下沉至设计标高。沉井下沉过程中无需设置坑壁支撑或板桩围壁, 沉井基础的刚性、稳定性、抗震性都较好, 有较大的支承面; 下沉深度较大, 并能在深水中作业; 可以穿过不同性质的土层, 将基底放置在承载力较大的土层或岩面上。因此在一定场合下, 沉井法是一种较好的方案。沉井应用到低桩承台的地下工程中, 常遇到基岩出露面不平整的情形, 且平整度很难在施工前详细描述, 而将刃脚加工成相应形状, 此时就可能造成沉井的一端已沉到基岩, 另一端尚未入岩。若要继续下沉, 需采取水下爆破, 将入岩端的基岩爆破后继续下沉, 爆破工程量巨

收稿日期: 2007-12-12

作者简介: 符平(1975-), 男, 湖南永顺人, 博士生, 工程师, 主要从事地基与基础处理方面研究。E-mail: fuping@iwhr.com

大,而且由于刃脚以上覆盖层已经挖除,此时在沉井内外存在着水头差,沉井内可能会有较大的涌水或翻砂现象,如采取强排,涌水量有可能越来越大,并最终导致无法正常施工。同时,沉井围堰与桩基施工不能进行并行作业,这对枯水期很短的施工是不利的。

(3) 板桩围堰。有钢板桩、木板桩和钢筋混凝土板桩等形式,可布置成单排、双排或格形体。钢板桩围堰由许多钢板桩互相连接围成圆筒形或弧形格体,格体内填砂、砂卵石或石碴等,可建在岩基或非岩基上。钢板桩围堰,特别是格形围堰采用较多,它适用范围广,抗冲能力强,安全可靠。在块石结构严重的地层中进行钢板桩施工,钢板桩穿透块石较为困难(通常块石本身的强度都较高)。

(4) 草土围堰。可在流速 2.0~3.5m/s 的流水中修筑,挡水高度一般不超过 6m。构造简单,施工方便,容易拆除。但这种围堰沉陷量较大,而且在流速很高的流速中施工难度很大。

(5) 土石围堰。土石围堰由于其材料易得、设备要求低和造价较低等原因,在条件许可的情况下一般都采用土石围堰。土石围堰通常有如下的特点:①地层情况复杂,工期短。大桥的主桥墩常位于江河的主河槽位置,其河床本身的地质情况比较复杂。土石围堰填筑时一般都就近取材,土石材料的成分、颗粒差别比较大。同时由于部分桥墩位于主河槽位置,河水较深,江水流速较大,给筑岛带来很大困难,因此在筑岛过程中大量抛填块石,且大块石的含量较高,因此也就造成了地层存在大量的架空结构,而且地层的空隙率很高。同时由于需要度汛和保证后续承台的施工,施工工期一般较短。②动水条件。由于施工工期短和围堰是临时建筑,很多土石围堰所做的黏土心墙质量较差,尤其是水下部分的心墙,或干脆就没有黏土心墙,加上围堰的架空结构比较严重,因此即使是在上下游水位差不大或渗径较长的情况下,在围堰中仍可能存在着流动水,且可能具有相当的流速。③防渗支护难度大。在河中央的土石围堰中为了形成基坑,防渗和支护是相辅相成的两个关键因素。由于土石围堰存在严重的架空结构和流动水,防渗支护难度较大。

高喷灌浆、静压灌浆、混凝土防渗墙是比较成熟的土石围堰防渗施工方法<sup>[3]</sup>,运用在架空结构严重的土石围堰上,尤其是在施工工期很短时,都存在着一些难以克服的困难。高压旋喷桩、拉森型钢板桩、灌注桩、混凝土防渗墙以及自然放坡是比较成熟的土石围堰支护施工方法。同样受到块石结构、动水、工期和填岛等条件的限制,施工存在较大难度。已有的研究表明<sup>[2]</sup>,在架空结构严重的地层防渗处理中采用速凝水泥膏浆灌浆堵漏技术是可行且有效的,速凝水泥膏浆是适合该种地层堵漏的有效材料之一。

## 2 速凝膏浆技术

2.1 速凝膏浆的材料特性 水泥膏浆是指水泥浆中掺入黏土、膨润土、粉煤灰等掺合料及少量外加剂而构成的低水灰比的膏状浆液,其基本特征是膏浆的剪切屈服强度值大于其本身重力的影响。速凝水泥膏浆是在普通水泥膏浆的基础上加入一定量的速凝剂配制而成,采用速凝水泥膏浆堵漏可以缩短和控制膏浆的凝结时间,有利于动水条件下的堵漏和防渗,能节省灌浆材料和时间。

速凝膏浆有 4 个主要的特征<sup>[3]</sup>:(1) 抗水流冲释性可以提高膏体作为整体抵抗水流的稀释和冲刷作用;(2) 宾汉体的流动特性和扩散特性可以使膏体能最大限度地充满架空地层;(3) 触变性可以提高膏浆的扩散范围和抗冲蚀能力;(4) 凝结时间可控性有利于膏浆适应于不同开度、不同流速的地层防渗施工,并可控制浆液的扩散范围。

2.2 速凝膏浆的施工工艺 (1) 施工设备。膏浆可以利用常规水泥灌浆的孔位进行灌浆施工,因此钻孔不需要特别的设备,但速凝水泥膏浆与普通水泥浆在性质上有较大的差别,因此需要采用特制的搅拌系统和泵入系统进行速凝水泥膏浆施工。(2) 工艺参数。膏浆的施工工艺参数一般可以参照常规水泥灌浆进行,可以采用自上而下、分段填压式灌注;膏浆的配比参照水泥灌浆通常分为 4~6 级,通过浆液变换标准逐级变浓;结束标准一般可以孔口返浆或孔内有压(注意区分由于膏浆本身的黏滞阻力而产生的虚压力)。

膏浆的孔排距根据现场地层情况确定,由于膏浆的屈服强度较大,因此其扩散范围受到一定约束,故孔排距应比水泥灌浆的孔排距小。

3 重庆鱼洞长江大桥桥墩围堰防渗支护施工

重庆鱼洞长江大桥主桥墩 14<sup>#</sup>、15<sup>#</sup> 桥墩位于长江主河槽, 需要填岛和施工围堰才能进行承台的开挖和浇筑。在前期 14<sup>#</sup> 上游幅桥墩由于基岩埋藏较浅(< 2.5m), 采用钢筋混凝土沉井围堰强排(涌水量大于 3 000m<sup>3</sup>/d)后完成, 15<sup>#</sup> 上游幅桥墩基岩埋藏最大深度约 8.0m, 且不平整, 同样采用钢筋混凝土沉井围堰, 在靠岸一侧沉井达到基岩, 靠主河槽一侧尚有约 3.0m 的原河床砂卵石层, 无法继续下沉, 在进行强行开挖时, 基坑内涌水逐渐增大, 最后达到 3 000m<sup>3</sup>/h 以上, 在浇筑水下封底混凝土后, 涌水量没有明显减少, 导致施工停止。

3.1 沉井结合膏浆帷幕处理 15<sup>#</sup> 上游幅桥墩已有沉井围堰作为支护结构, 故只需进行帷幕灌浆, 基坑开挖后, 在靠近主河槽一侧接着沉井刃脚浇筑一道混凝土挡土墙, 与沉井一起形成完整的支护结构。由于施工围堰经过一次汛期, 其下的砂砾石层已经产生管涌破坏, 因此不排除砂砾石层有被淘空的可能, 且从现场沉井内涌水量和涌水现象来看, 砂砾石层存在明显的较大的渗漏通道。因此施工平台的地层情况是: 上部 4.0~ 5.0m 为回填块石, 最大粒径可达 2.0~ 3.0m, 存在较大架空的可能, 并有明显的较大的渗漏通道, 向下为 2.5~ 3.5m 的原河床强透水砂砾石层和中等强度透水的基岩。防渗帷幕施工采用速凝膏浆结合稳定性浆液灌浆技术进行防渗, 所用膏浆性能见表 1。

表 1 重庆鱼洞长江大桥主桥墩围堰防渗工程所使用的膏浆性能<sup>[1]</sup>

编号	重度/ (g/cm <sup>3</sup> )	流变参数		凝结时间		抗压强度/MPa			
		初始屈服强度/Pa	初始塑性黏度/(mPa·s)	初凝/min	终凝/min	1h	1d	7d	28d
1	1.85	685	940	60	245		6.8	22.5	36.6
2	1.87	984	1 220	40	125		8.5	28.5	39.8
3	1.88	1 254	1 680	30	95	0.12	10.6	29.4	40.5
4	1.92	1 528	2 520	20	65	0.25	12.4	30.2	41.2
5	1.96	1 984	3 320	15	40	1.26	16.2	30.6	41.9

布孔方式为沿着沉井周边外侧布置 3 排孔, 排距 1.0m, 孔距 2.0m, 呈梅花形布置, 孔深嵌入基岩 1.0~ 2.0m; 采用自下而上、分段、纯压式灌浆, 灌浆段长初步定为 0.5m; 速凝膏浆采用 6 级配比浆液, 一般采用稀浆开灌, 按变浆标准逐级进行变换; 外排孔 I 序孔采用 0.2~ 0.3MPa 的灌浆压力, 外排孔 II 序孔、内排孔、中间孔采用 0.5~ 0.8MPa 的中等灌浆压力; 结束标准为尽量达到结束灌浆压力, 若达不到灌浆压力, 注入干料大于 4t/m 时, 也可结束本段灌浆。

帷幕防渗工程帷幕钻孔进尺 1 171.7m, 灌注进尺 867.8m, 灌注 980t 干料, 平均单耗为 1.13t/m。无论从灌浆过程、注入量的递减规律、压水试验, 还是基坑开挖的情况看, 防渗效果显著, 沉井和挡土墙支护可靠。

3.2 固结结合帷幕灌浆处理 15<sup>#</sup> 下游幅桥墩的地质情况与上游幅基本类似, 主要是砂砾石层的厚度更深, 施工平台的地层情况是: 上部 4.0~ 5.0m 为回填块石, 存在较大架空的可能, 向下为 5.0~ 6.0m 的原河床强透水砂砾石层和中等强度透水的基岩。

15<sup>#</sup> 墩下游幅围堰由于工期和技术上存在一定的困难, 不准备采用沉井围堰, 而直接做防渗帷幕并进行开挖。同时, 虽然灌浆本身对砂砾石地层有置换、挤密等作用, 可有效地提高地层自身的稳定性, 但其支护效果目前不能进行准确的定量分析评价, 基坑的边坡稳定及加固不能完全依赖于灌浆作用。因此, 围堰基坑的支护和防渗是相辅相成的两个主要因素。

防渗方案与 15<sup>#</sup> 上游幅类似, 采用速凝膏浆结合稳定性浆液灌浆技术。支护方案在比较高压旋喷桩、灌注桩护坡等方式后, 考虑到工期、技术难度、造价等, 选定采用放坡结合固结灌浆的方式进行支护, 放坡经计算设计为 60°, 并在帷幕内部的放坡区域进行固结灌浆, 固结孔孔排距均为 2.0m, 固结灌浆压力为 1.0~ 2.5MPa, 为充分利用固结体的自拱效应, 帷幕布置成椭圆形, 工艺基本与 15<sup>#</sup> 上游幅的类似。

防渗支护工程钻孔进尺 1 815.4m, 灌注进尺 1 544.4m, 灌注 1 900t 干料, 平均单耗为 1.23t/m, 无论

从灌浆过程、注入量的递减规律、压水试验,还是基坑开挖的情况看,防渗效果显著,固结支护效果可靠(实际开挖坡度大于75°)。

4 结语

(1)通过重庆鱼洞长江大桥15<sup>#</sup>墩上、下游幅防渗支护工程的施工和开挖后的效果检查,可以认为速凝膏浆结合稳定性浆液灌浆技术适合于块石架空的桥墩围堰,其大孔隙的封堵效果是明显的,帷幕的防渗效果显著。速凝膏浆结合稳定性浆液的帷幕灌浆及固结灌浆可以对地层起到较好的稳定、支护作用,灌浆对砂砾石地层的置换、挤密等作用,可有效地提高地层自身的稳定性;灌浆后地层的透水性大为减弱,部分砂砾石层甚至表现为天然状,从而减少了水对地层稳定性的影响。在采取喷锚、局部挡土墙等相关措施后,其边坡支护设计可按无水稳定边坡考虑。(2)速凝膏浆具有遇水不分散和一定的抗水流冲释性能,具有良好的可灌性和可控性,与其他灌浆材料相比,具有灌浆效果明显、工效高、减少浆液浪费等优点。但速凝膏浆有其特定的适用范围,对于特大漏量和较高流速地层的堵漏,速凝膏浆可能也无法满足要求,需要采取其他工艺和材料,如充填级配料、模袋灌浆等进行处理。(3)大江大河主河槽上的桥墩基础常采用低桩承台,速凝膏浆结合稳定性浆液技术为其围堰防渗支护施工提供了一种新的有效、经济的可选方案。

参 考 文 献:

[ 1 ] 中国水利水电科学研究院工程安全监测中心. 重庆鱼洞长江大桥 14<sup>#</sup>、15<sup>#</sup> 桥墩围堰防渗支护工程施工报告 [ R]. 北京:中国水利水电科学研究院,2007.

[ 2 ] 符平,等. 速凝膏浆技术研究与应[ J ]. 水利水电技术,2005,36( 1): 63- 65.

[ 3 ] 符平,等. 块石架空围堰防渗施工技术[ J ]. 中国水利水电科学研究院学报,2006,4( 1): 27~ 30.

Construction technology of seepage control and timbering in pier cofferdam of Yudong Yangtze Bridge

FU Ping, YANG Feng, ZHAO Wei-quan, ZHANG Jin-jie  
( Engineering Safety Monitoring Center , IWHR , Beijing 100044, China )

**Abstract:**The structure of the Yudong Yangtze Bridge is of continuous girder type. Its main piers, 14<sup>#</sup> pier and 15<sup>#</sup> pier, are situated separately at the left and right sides of the main river course. The foundation of piers is very deep with platform bottom 7.0m under water level in dry season. A cofferdam is needed to construct the platform of pier foundation. The seepage control and timbering support for the construction pits were the two key factors. The difficulty was to control seepage and retain the foundation slope because of the cofferdam's large cavity stratum and flowing water. According to the geological conditions of the bridge, a kind of quick-hardening paste was used. The characteristics of the paste were analyzed, the application of the paste and the relevant technique were studied in detail. The effectiveness of the method was evaluated. It was proved that this technology can be one of the effective and economical methods for constructing pier cofferdams under the conditions of large-cavity stratum and flowing water.

**Key words:** flowing water; large-cavity stratum; cofferdam; quick-hardening paste; seepage control and timbering

(责任编辑:王冰伟)