

潮湿环境混凝土修补技术 在密云水库闸墩裂缝修补中的应用

宋秀瑜 张 景

(北京市密云水库管理处, 北京 101512)

【摘 要】 长期浸泡在水中的混凝土工程极易发生裂缝破坏,影响工程安全。在密云水库第一溢洪道闸墩渗漏封堵工程中,采用环氧树脂灌浆、环氧砂浆修补、聚脲表面封闭等措施,有效解决了潮湿环境下混凝土裂缝与修补材料难以结合的问题。所采用的环氧树脂、环氧砂浆和聚脲都是能与潮湿混凝土界面进行良好结合的高分子材料,凝固后的抗拉抗压强度高于常规混凝土,具有较好的伸缩特性,能适应裂缝的变形。该技术可为其他工程提供借鉴。

【关键词】 密云水库;混凝土裂缝;化学灌浆;环氧砂浆

中图分类号: TV698.2+31

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2018)05-005-05

Application of wet environment concrete repairing technology in crack repair of Miyun Reservoir gate pier

SONG Xiuyu, ZHANG Jing

(Beijing Miyun Reservoir Management Office, Beijing 101512, China)

Abstract: Concrete projects that have been immersed in water for a long time are prone to crack and damage, which affect the safety of projects. Epoxy resin grouting, epoxy mortar crack repairing, polyurea surface sealing and other measures are adopted in leakage plugging projects of Miyun Reservoir No. 1 spillway gate pier. The following problems under wet environment are effectively solved: concrete cracks cannot be bonded well with repair materials, and cracks cannot be repaired easily. The adopted epoxy resin, epoxy mortar and polyurea belong to high polymer materials which can be well combined to wet concrete interface. Tensile compressive strength after solidification is higher than conventional concrete. They have good expansion feature, which can adapt crack deformation. The technology can provide reference for other projects.

Key words: Miyun Reservoir; concrete cracks; chemical grouting; epoxy mortar

水利工程建设过程中,由于建设时期地质条件复杂、勘察设计出现偏差、施工操作不当、工作环境差等因素,混凝土工程经常会出现一些缺陷,例如裂缝、表层脱落等。尤其是长期浸泡在水下或者处在水面边界上的桥墩、闸墩、大坝、港口等水下混凝土建筑物极易因为水流冲刷和冰冻侵害造成比较严重的破坏,其中裂缝是最为常见的一种破坏。水下混凝土裂缝的存

在,势必影响混凝土的强度和耐久性,甚至会引起严重的渗漏,影响到建筑物发挥正常作用和安全使用。因此,必须对水下混凝土裂缝缺陷进行修复处理。

1 工程概况

1.1 工程基本情况

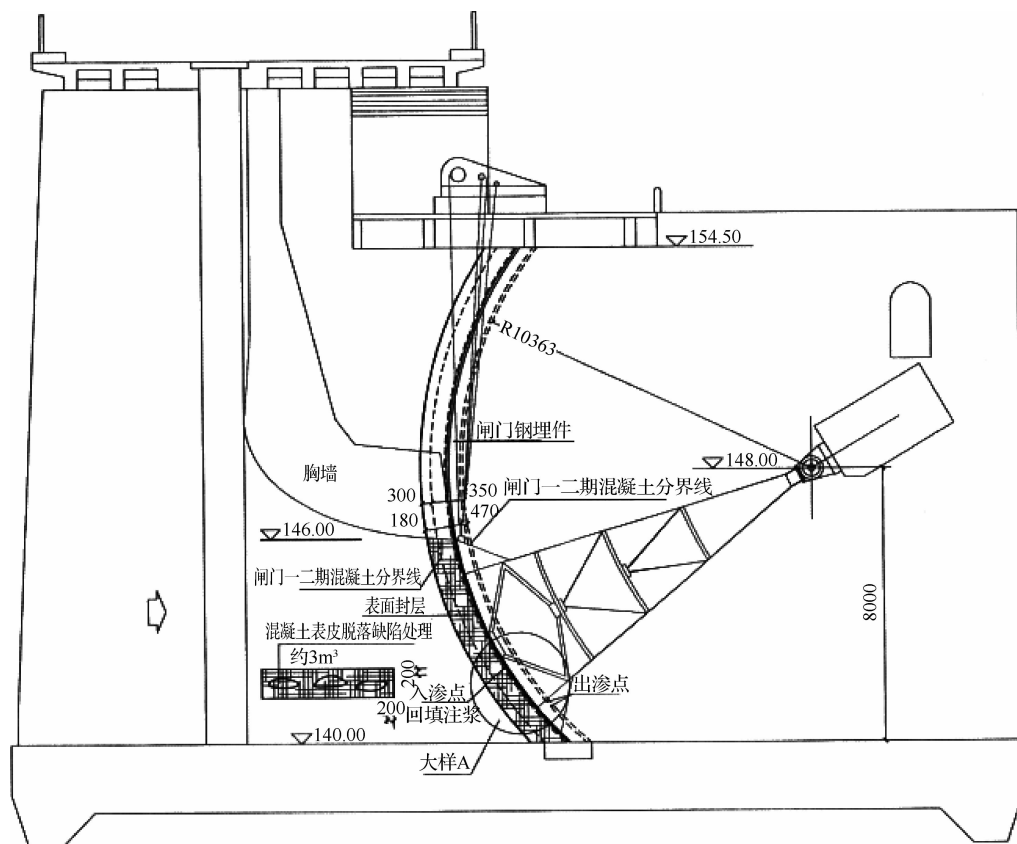
密云水库位于北京东北部密云区境内,是潮白河水

系的一项重要控制工程。密云水库总库容 43.75 亿 m^3 ，属于大(1)型 I 等工程。密云水库自 1960 年建成以来，在供水、防洪和发电等方面发挥了巨大效益，水库总体运行情况良好。

密云水库的主要泄水建筑物是三个溢洪道和几个隧洞，其中第一溢洪道是随水库一起修建的最早的泄水建筑物之一。密云水库第一溢洪道为河岸深孔式溢洪道，由引渠、闸首和泄槽组成。闸首为平底坎带胸墙结构，5 扇 $10\text{m} \times 6\text{m}$ 钢制弧形闸门架设在 4 座宽度 2.2m 的闸墩和两个边墩上，总宽 58.8m，底板高程 140.0m，目前蓄水位 144.0m。设计洪水位 157.5m，泄流量 $4300\text{m}^3/\text{s}$ ；校核洪水位 158.5m，泄流量 $4490\text{m}^3/\text{s}$ 。

1.2 第一溢洪道闸墩渗漏情况

2017 年 8 月 30 日，工程检测人员在日常巡视检查中发现，密云水库第一溢洪道 2 号中墩右侧墩体出现集中渗漏现象。现场观测为点状射流漏水，漏水点共计 2 处，均位于工作闸门导轨下游一期、二期混凝土接缝处，距底板高度分别为 1.08m 和 1.20m，两处总渗漏量约 $0.5\text{L}/\text{min}$ 。经潜水员潜水查勘、摸排，初步确定上游入渗点位于 2 号中墩右侧闸门导轨一期、二期混凝土结合处。另外，2 号中墩右侧工作闸门上游存在混凝土表皮脱落现象。第一溢洪道 2 号中墩右侧立面图如下图所示。其他几个闸墩的侧导板下游也出现了不同程度的阴湿，认定为侧导板一二期混凝土裂缝渗水所致。



2 号中墩右侧立面图

2 修补材料

2.1 灌浆材料

目前广泛应用的混凝土裂缝修补方法是高压灌浆，灌浆材料有水泥浆、化学浆等，不同的灌浆材料对裂缝修补的效果和应用环境是不一样的。水下混凝土裂缝灌浆材料与干燥混凝土裂缝灌浆材料不同，它既需要具有一定的亲水性，以便可以很好地与潮湿的混

凝土界面结合，又需要具备一定的强度。一般单一的灌浆材料很难在两方面都达到较高的水平，因此往往采用两种或两种以上的高分子有机材料进行混合，充分利用它们各自的最优特性。在密云水库第一溢洪道闸墩裂缝修补过程中，采用了高分子 SK-E 环氧树脂化学灌浆材料。

SK-E 环氧树脂灌浆材料对潮湿混凝土界面具有很好的附着力，这是因为液态的环氧树脂在水下也如

在干燥表面一样,可以代替空气与潮湿混凝土表面形成强极性键,这样就可以吸收掉混凝土裂缝中的水分,解决灌浆材料和层面黏接不牢的问题。环氧树脂灌浆材料分为 A 组分和 B 组分,A 组分分子包含多个极性键极性键,可与水的羟基形成强极性键,从而可以与高表面能的混凝土裂缝紧紧地黏接在一起;B 组分本质上是一种高分子固化剂,可以促进浆液快速固化,达到既定强度。使用时要将 A 组分和 B 组分按照一定比例充分混合,通过调节 A 组分和 B 组分的混合比例决定浆液的黏稠度和初凝时间。该工程根据裂缝的宽度和需要凝固的时间设计环氧树脂的 A 组分和 B 组分的比例为 10:1,混合后的 SK-E 环氧树脂灌浆材料技术指标见表 1。

表 1 SK-E 环氧灌浆材料技术指标

项 目	指 标			
外 观	环氧树脂 A 组分		棕色黏稠液体	
	环氧树脂 B 组分		暗红色黏稠液体	
初始黏度/MPa·s(20 ± 2℃)	< 30			
凝结时间/h	初凝		2-4	
	终凝		< 24	
强度指标/h	4	12	24	72
抗压强度/MPa	14. 5	42	60	≥70
抗拉强度/MPa	2. 5	8	13. 5	≥15
黏结强度/MPa	0. 3	1. 2	2. 1	≥2. 5

2.2 环氧砂浆

环氧砂浆是采用高分子环氧树脂为黏结剂,将其与骨料(石英砂)固结而形成的砂浆,它同时具有高分子和无机材料的综合性能。通过选择不同类型的树脂品种和骨料配比可以得到具有不同性能的砂浆,同时还可以通过固化剂用量调节它的固化时间。YEM 环氧砂浆技术指标见表 2。

YEM 环氧砂浆以 YEM 环氧树脂作为胶结料,其固化产物的性能可在较大范围内调节,既可以制备高强度混凝土,也可以制成增韧环氧砂浆甚至是弹性环氧砂浆,其固化速度也可通过加入不同的固化剂来调节,同时还可以很好地适应潮湿混凝土界面的修补。YEM 环氧砂浆的高强度黏结性可以保证其在水位变化区混凝土修补中抗冲刷、抗干湿变化,因此被广泛应用于桥墩、闸墩、港口、大坝的水位变化区混凝土破坏部位。

表 2 YEM 环氧砂浆技术指标

项 目	指 标			
外 观	环氧树脂组分一	灰色黏稠液体		
	环氧树脂组分二	无色黏稠液体		
	骨料	白色石英砂		
凝结时间/min(20±2℃)	初凝	<20		
	终凝	<120		
强度指标/h	4	12	24	72
抗压强度/MPa	34.5	40	55	≥60
抗拉强度/MPa	4.5	7	9	≥10
砂浆黏结强度/MPa	干燥界面	1.0	2.2	3.8
	潮湿界面	0.7	1.5	1.8

2.3 聚脲

聚脲是由异氰酸酯组分与氨基化合物组分反应生成的一种弹性体物质,因其具有优异的理化性能,极高的抗张抗冲击强度、柔韧性、耐磨性、防湿滑、耐老化、防腐蚀和良好的黏结力,所以被广泛用于化工防护、管道防腐、隧道防水、大坝维护、桥梁防护、基础加固、护舷制造等方面。聚脲的种类有很多,根据工程量和工期,可以选用黏稠度不同的喷涂型、刮涂型和浇注型聚脲。对于工程量较小而且工期紧张的工程,一般选用施工机动性强的刮涂型聚脲,刮涂型聚脲设计技术指标见表 3。

表 3 刮涂型聚脲技术指标

性 能	指 标	
固化时间/h(20±2℃)	表干	2~4
	实干	<48
黏结强度/MPa	干燥界面	≥3
	潮湿界面	≥2.5
	水下界面	≥1.5
拉伸强度/MPa	≥15	
断裂伸长率/%	≥300	
撕裂强度/(N/mm)	≥40	
硬度/Å	≥50	

3 施工工艺

密云水库第一溢洪道闸墩裂缝修补工程才去的工艺流程为:施工准备→缝面刻槽及布孔→埋管连通性检查→化学灌浆→表面清理→表面聚脲封闭→质量检查及验收。



3.1 渗流通道查找

沿裂缝或渗水施工缝走向两侧或骑缝设置一排灌浆孔,孔间距 0.3m 左右,孔深、角度以和缝面相交为准,待钻孔结束后沿缝走向采用凿一条宽、深 2~3cm 的“U”型槽,用高压水将灌浆孔和“U”型槽内及混凝土表面的灰尘、浮渣及松散层仔细清除,并用高压气冲洗干净后,采用速凝水泥防渗材料对“U”型槽进行封闭。缝面清理刻槽处理后,在灌浆孔口阻塞灌浆管,为了便于观察渗漏通道,采用无机颜料品红溶液进行压水试验。压水压力控制在 0.2MPa 以下。压水顺序为先压较低位置的孔再依次上移,先压深孔后压浅孔。当看到红色的品红溶液依次从各孔渗出时,观测各孔的出流量及畅通情况,判定各孔之间的连通情况。对漏水部位进行记录,并进行封闭处理。

3.2 灌浆处理

灌浆前用高压气吹净孔内积水,根据裂缝宽度和实验室确定的浆液配比严格配合环氧树脂的 A 组分和 B 组分,充分搅拌后倒入灌浆机中进行灌浆。为防止浆液在空气中发生初凝,配制环氧树脂浆液应遵循少量多次的原则。每次配浆量要与灌浆机灌浆速度相应,避免因灌浆时间长造成配制浆液停放时间长,浆液粘度增大,导致灌注困难,影响灌浆质量^[1]。灌浆过程中,如发现所配环氧树脂浆液粘度变大,已经发生初凝现象,应重新配制浆液,不得用稀释剂稀释浆液。

化学灌浆均采用孔口封闭,进行纯压式灌浆。化学灌浆压力初步按照 0.2~0.3MPa 进行控制,随着灌浆时间的推进,灌浆压力逐步升高,并控制进浆速度。现场根据情况进行调整,最大灌浆压力不超过 1MPa。灌浆应按照灌浆孔由低向高、由深至浅的顺序进行灌浆。根据压水试验结果,如存在特别畅通灌浆孔,则首先进行灌注,待相邻排气孔排出浓浆时,将该排气孔封闭,继续灌注,直至最后排气孔出浆该孔灌浆结束。灌浆工作必须连续进行,不得中断,如因特殊缘故中断灌浆,应尽快恢复灌浆。如果恢复灌浆时间间隔较长时,应采用新鲜浆液进行灌注。化学灌浆外漏时,暂停灌浆,对渗漏部位外部采用速凝材料封堵,停止渗漏后逐级升压至灌浆结束。

灌浆过程中,通过浆液扩散挤压排除渗水、渗浆情况,判定灌浆效果,必要时进行补充钻孔和灌浆。灌浆采用的改性环氧树脂浆液具有较好的潮湿固化性能,

具有亲水不混水性能,压力条件下可将裂缝中积水排出^[2]。灌浆效果检查及判定以混凝土表面排水、排浆后,不再有渗水现象、不影响聚脲刮涂为合格。

3.3 环氧砂浆修补混凝土剥蚀面

对于闸墩水位变化区出现的混凝土剥蚀情况应采用电锤对剥蚀混凝土进行表面清除,将混凝土表面的水生植物苔藓等清除干净,露出新鲜的混凝土基面,并用清水清洗及风干表面^[3]。在混凝土基面上涂刷专用潮湿界面剂,按照实验室确定的配比配制环氧砂浆进行压实抹平,保证和旧混凝土面保持平整。环氧砂浆摊铺完毕后立即压抹并一次抹平,避免反复抹压造成已压实的环氧砂浆松动。遇有气泡时应刺破压紧,保证表面密实。

3.4 聚脲封闭表面裂缝

为减弱水流对环氧砂浆和灌浆材料的破坏作用,需要用聚脲对表面裂缝和环氧砂浆进行封闭处理。化学灌浆后待环氧树脂初凝,切除表面灌浆管,用角磨机对基面混凝土进行打磨,打磨宽度为表面裂缝两边各不少于 12cm,用高压水枪冲洗表面的灰尘、浮渣。混凝土基面打磨处理后,清洗及风干表面,涂刷专用潮湿界面剂,涂刷要求薄而均匀,无漏涂,待界面剂初凝后,用刮刀刮抹第一层聚脲,并黏贴一层胎基布。胎基布是一种高韧性的网格纤维,具有很高的抗拉强度,可以适应混凝土裂缝的变形。粘贴胎基布后间隔 4~6h,施工第二层聚脲,依次施工,至四到五遍,最终聚脲厚度达到 2mm。

4 施工质量检测

4.1 灌浆效果检测

灌浆结束 24h 后,对灌浆孔进行压水试验,维持压力 0.1MPa,表现为各灌浆孔均不进水即为合格。采用聚脲封闭裂缝表面,养护 2d 后,聚脲表面黏接牢固,无鼓包、渗水现象即说明渗水裂缝已通过灌浆封闭^[4]。否则,用小刀割开聚脲,对渗水部位进行重复灌浆封堵。SK-E 环氧树脂灌浆施工质量检测结果见表 4。

经质量检测,灌浆过程连续进行,未发生过因设备故障等原因造成的中断现象,保证了灌浆质量。灌浆过程中,由于施工温度远低于试验温度,导致环氧树脂初始粘度偏大,适当减少 B 组分的比例,降低其粘度,但是固化时间相应增加。灌浆时充分排除了裂缝内的

表4 SK-E 环氧树脂灌浆施工质量检测结果

项 目	设计 要求	检 测 结 果
初始粘度/MPa·s	<30(20±2℃)	33(10±2℃)
凝结时间/h	<24	30
抗压强度/MPa	≥70	76
抗拉强度/MPa	≥15	16
黏结强度/MPa	≥2.5(或混凝土 本体内部破坏)	2.61

积水,使浆液和潮湿界面充分黏接,浆液充满裂缝。养护后浆液与原混凝土融为一体,抗拉抗压强度达到设计要求。经过压水检查各灌浆孔不进水,聚脲封闭后查看聚脲表面无鼓包、无渗水,说明环氧树脂灌浆合格。

4.2 环氧砂浆修补剥蚀面效果检测

环氧砂浆施工完毕,进行目测或敲击检查,修补后的基面应无裂纹、空洞、空鼓、松动、蜂窝麻面等缺陷,并且环氧砂浆修复面应和原混凝土面平整衔接。养护3d后,在局部进行环氧砂浆抗拉抗压和黏结度试验,实验结果见表5。

表5 YEM 环氧砂浆施工质量检测结果

项 目	设计 要求	检 测 结 果
凝结时间/min	<120(20±2℃)	180(10±2℃)
抗压强度/MPa	≥60	62.0
抗拉强度/MPa	≥10	11.9
砂浆黏结强度/MPa	>2.0	3.6(水泥砂浆断)

经质量检测,环氧砂浆能与原混凝土平整衔接,无鼓包和凹陷,无裂缝、空洞、蜂窝麻面等缺陷。由于施工温度远低于实验室温度,环氧砂浆的凝固时间加长50%,但是抗拉和抗压强度均能满足设计要求,与潮湿界面的黏接强度也能满足要求。

4.3 聚脲封闭表面裂缝效果检测

聚脲封闭施工过程中,应对施工范围划线,确保施工规范、美观。基面处理和界面涂刷质量进行目测检查,基层应无油污、灰尘、污物、浮浆和松散的表层;涂刷的界面剂应均匀、固化正常、无漏涂、无堆积;聚脲涂层应均匀涂敷,涂层厚度应满足设计要求;外观应颜色均匀、平整、无流挂、无漏涂、无针孔、无起泡、无开裂、无异物混入^[5]。SK 刮涂型聚脲施工质量检测结果见表6。

表6 SK 刮涂型聚脲施工质量检测结果

项 目	设计 要求	检 测 结 果
实干固化时间/h	<48(20±2℃)	60(10±2℃)
拉伸强度/MPa	≥15	18
断裂伸长率/%	≥300	320
黏结强度/MPa	≥2.5(或基面 混凝土断开)	2.8
撕裂强度/(N/mm)	≥40	50
硬度/Å	≥50	65

经质量检测,SK 刮涂型聚脲施工质量良好,外观平整,颜色均匀,无流挂、无漏涂、无针孔、无起泡、无开裂、无异物混入等缺陷。但是由于施工温度低于实验室温度,固化时间略有增加,抗拉抗压强度、断裂伸长率、黏结强度和硬度均能满足设计要求。

5 结 语

由于闸墩长期浸泡在水下,潮湿的混凝土界面对于裂缝修补是一项挑战,密云水库第一溢洪道闸墩渗漏封堵工程采用可以和潮湿混凝土界面进行良好黏接的高分子环氧树脂灌浆材料封缝,再配合环氧砂浆修复潮湿混凝土表面筑造缺陷,最后采用可以和潮湿界面水分子形成强极性键的聚脲进行表面封闭,有效地解决了潮湿混凝土裂缝修补的难题。该技术采用具有强极性键的高分子材料与高表面能的潮湿混凝土界面进行良好结合,达到了封堵潮湿混凝土裂缝、恢复混凝土原有强度的效果。修补没有再发生渗漏现象,工程运行状况与闸墩修补之前无异。◆

参考文献

- [1] 张捷. 混凝土缺陷水下修补技术[J]. 大坝与安全, 2004(51):8-13.
- [2] 戴理高. 对混凝土大坝水下裂缝修补技术的探讨[J]. 水利水电, 2009(8):227-228.
- [3] 许乾慰,洪涛,吴毅彬. 水下修复材料的研究进展[J]. 上海塑料, 2014(1):14-18.
- [4] 石妍,王迎春,李家正,等. 复合型水下混凝土裂缝高效修补材料试验研究[J]. 人民长江, 2011(2):84-87.
- [5] 王益国,李国豹,吴友仁,等. 混凝土裂缝水下封闭修复技术及其工程应用[J]. 中国港湾建设, 2014(5):5-13.