

三门峡水利枢纽泄流排沙建筑物 抗磨蚀实践研究

张健锋 魏乘蛟

(三门峡水利枢纽管理局工程管理分局,河南 三门峡 472000)

【摘要】黄河的泥沙冲刷对三门峡水利枢纽工程泄流排沙建筑物造成了严重的磨蚀。为进一步摸清磨蚀机理、减少破坏,分别采用辉绿岩铸石板、高强混凝土、环氧砂浆等抗磨蚀材料和改变水工建筑物体型等方法,实践证明,环氧砂浆和高强度砂浆可作为良好的抗磨材料,适合在多泥沙河流枢纽中推广运用。

【关键词】泄流排沙;抗磨蚀实践;环氧砂浆;高强度砂浆

中图分类号:TV52

文献标志码:A

文章编号:1005-4774(2018)05-064-03

Study on abrasion resistance practice of drainage desilting building in Sanmenxia Water Conservancy Project

ZHANG Jianfeng, WEI Chengjiao

(Sanmenxia Water Conservancy Project Management Bureau Management Branch, Sanmenxia 472000, China)

Abstract: The silt erosion of the Yellow River has caused severe abrasion on drainage desilting building in Sanmenxia Water Conservancy Project. In order to further make clear the abrasion mechanism and reduce the damage, methods such as diabase glass-ceramic plate, high strength concrete, epoxy mortar and other abrasion resistant materials, and changing unreasonable shapes of hydraulic structures, etc. are adopted. Practice shows that epoxy mortar and high strength mortar can be used as good high-quality anti-wear materials, which are suitable for application in the multi-sediment river hubs.

Key words: drainage desilting; abrasion resistance practice; epoxy mortar; high strength mortar

三门峡水利枢纽位于黄河中游,是一座以防洪为主综合利用的大型水利枢纽工程。该工程于1960年开始蓄水。蓄水后,水库发生严重淤积,为扩大泄流排沙规模,工程于1964—2000年间进行数次改建,在左岸兴建2条隧洞,改建3条引水发电钢管,并打开已封堵的12个施工导流底孔,现有27个孔口,即12个底孔、12个深孔、2条隧洞及1条钢管,用以泄流排沙。三门峡水库采取“蓄清排浑”的运用方式,水库淤积问题得到了解决,并发挥了防洪、防凌、灌溉、发电和供水的综合效益。但是,含沙水流对泄水建筑物造成严重的磨蚀破坏。为此,本文对三门峡水利枢纽自1967年

以来开展的一系列抗磨蚀实践进行分析研究,以选择合适的抗磨材料。

1 磨蚀情况

三门峡枢纽的泥沙特性为年输沙量大,汛期含沙量大、硬度大的矿物含量多,颗粒尖利,高速含沙水流对泄水建筑物造成极其严重的磨蚀破坏。磨蚀严重部位有门槽的底槛和导轨、边墙的下部、底板等。各泄水建筑物的损坏程度,以底孔损坏情况最为严重,深孔次之,隧洞、钢管较轻,其原因是底孔进口高程低,过水流速和含沙量大,运用时间长。

由于高速含沙水流对建筑物表面的磨损与空蚀破坏,三门峡水利枢纽排沙底孔孔身、深孔溢流面和护坦面在运行中产生严重磨蚀。枢纽底孔断面 $3\text{m}\times 8\text{m}$,汛期最大断面平均流速为 $14\sim 18\text{m/s}$,平均含沙量约为 $85\sim 100\text{kg/m}^3$,最大瞬时含沙量达 911kg/m^3 ,泄流期间基本处于满流状态,底孔界面上均有磨损现象,底板侧墙的混凝土表面磨损较严重。在近年来的检查中,发现部分工作门槽后形成大面积蚀坑,一般坑深 20cm 。底部钢筋成排裸露,受力钢筋已被磨扁或磨细。侧墙 3m 以下混凝土表面磨损严重, $80\sim 120\text{mm}$ 特大骨料裸露。各型门槽和门槽轨道,也均被悬移质与空蚀联合破坏,成为水库防洪安全运行中的重大问题。8个底孔工作门槽不锈钢导轨为凸出轨道,破坏程度都极其严重,有的导轨在厚度上已剥蚀近半。以2010年4月的6号底孔为例,检查发现6号底孔正轨不锈钢面气蚀严重,最大气蚀坑长 10mm 、宽 5mm 、深 4mm ;反轨气蚀异常严重,气蚀坑密度大,最大气蚀坑长 15mm 、宽 6mm 、深 5mm 。排沙隧洞弧形工作门导轨为厚 5mm 、宽 100mm 的不锈钢扁平轨道,由于底部两侧不锈钢导轨破坏严重,导轨被磨蚀成深沟缺口,厚 20mm 的门槽段护面钢板也被磨穿。

2 原因分析

自1981年开始,中国水利水电科学研究院、黄河水利科学研究院等单位相继进行双层孔常压水工模型试验、单层孔常压和减压模型试验及底孔原型空化噪声试验。通过水工模型试验可知,底孔底板、挑流鼻坎及底孔远端边墙均为正压力,无空穴现象。由原型破坏形态观察,底板破坏后残留的各种抗磨蚀材料均有顺水流方向的划痕或沟槽痕迹,非空蚀破坏外观,为典型的泥沙磨蚀。根据前人试验研究成果,泥沙磨蚀程度与流速、含沙量、泥沙粒径和运用历时等因子成比例关系,三门峡水库泥沙含量大,粒径粗、颗粒尖利。

上述部位磨蚀情况主要表现为在高速含沙水流作用下,首先表层胶结水泥被磨蚀掉,随着运行历时的增加,致使结构的粗糙度增加,细骨料亦逐渐被磨掉,导致粗骨料裸露,加剧水流扰动,形成各种类型的涡流,带走更多的细骨料,最终使粗骨料剥落。而靠近工作门槽近端边墙磨蚀的主要原因是涡旋切向流速下含沙水流的磨蚀以及局部压力降低所导致的空蚀破坏。

3 抗磨蚀实践

3.1 改善泄水建筑物体型

泄流工程二期改建期间,将底孔进口斜门槽体型由矩形改为带错矩坡型,即将门槽上下游边错距 100mm ,经 $1:12$ 斜坡与边墙连接,以适应高速水流。为减少泥沙磨损,将底孔进口斜门槽导轨断面由原方钢改为无凸台的平板型可拆卸不锈钢导轨。将底孔工作门槽导轨改为无凸台、表面呈圆弧形、可拆卸的不锈钢导轨。为了增加底孔沿程压力,减少气蚀的发生,在底孔出口处高度上进行压缩。另外,提高孔洞底板、边壁等过流面施工工艺,做到过流面平顺光滑,改变不合理的体型,可改善水力学条件,减少磨蚀的发生。但施工工艺比较复杂,成本比较昂贵,使用范围有很大的局限性。

3.2 抗磨材料的实践

3.2.1 辉绿岩铸石板

1973年12月—1974年11月,相继在7个底孔底板面铺砌了辉绿岩铸石板(以下简称“铸石板”),铺砌时用环氧树脂基液打底,用高标号水泥砂浆作黏结材料进行现场试验,汛期投入排沙运用。1981年4—6月和1982年5—6月,对底孔进行检查,1号、4号和7号三个底孔底板铺砌的铸石板剥落面积在 56% 以上,5号和8号两个底孔铸石板剥落面积在高达 87% 以上,未剥落铸石板的表面有顺水流向擦痕,深约 $1\sim 2\text{mm}$,铸石板的接缝处有破裂现象^[1]。从使用效果看,铸石板本身的抗磨蚀性能很好,价格便宜,但质地较脆,易被推移质砸破,且整体性差,在高速水流的作用下,先从黏结薄弱的部位破坏,易被逐块掀掉,在大面积施工黏接工艺无把握的情况下不宜使用。

3.2.2 环氧砂浆

2013年,1~3号底孔间挑流鼻坎靠近边墙部位及底孔闸间门槽部位的侧墙等典型过流部位进行抗冲磨表层修复现场试验,涂抹一层改性环氧金刚砂砂浆层,厚 $0.5\sim 1.0\text{cm}$,经过近3个汛期运行,经检查基本没有发生磨蚀破坏,抗磨效果较好。二期改建时,底孔两侧边墙门槽段,在埋件安装后即采取现场浇筑混凝土,并在混凝土表面涂抹一层厚度为 10mm 的环氧砂浆,但由于施工时施工工艺控制不严,大部分底孔在经过

二次汛期过流后出现环氧砂浆大面积剥落现象。

环氧砂浆用于水流状态复杂、易受高速水流破坏的部位,例如:金属护面的抗冲刷抗磨蚀涂层、门槽段、出口压缩段边壁等。抗磨蚀能力是普通混凝土的4~5倍,黏结能力强,是最好的抗磨材料,但材料价格较贵,工艺要求较高,其中所用的固化剂等材料有毒性,可作为重要部位小面积应用。

3.2.3 高强度混凝土

三门峡枢纽曾在4号底孔的底板进行高强混凝土抗磨材料现场工艺试验^[2]。使用高强混凝土的水灰比0.3,水泥用量 $467\text{kg}/\text{m}^3$,FDN掺量5%,坍落度3~5cm。经过7个汛期后测高强混凝土平均累计磨损20.8mm,最大磨蚀26mm,最小磨蚀15mm,平均每年磨蚀3mm。施工和维修都较简便,成本比较低廉,适合大面积施工,是三门峡底孔改建底板抗磨层的基本材料。

3.2.4 高强度水泥砂浆

高强度水泥砂浆选用微膨胀525号水泥、掺用优质活性添加物、高效减水剂。三门峡枢纽底孔边墙采用“水泥裹砂潮喷法”喷涂高强度水泥砂浆,经过底孔累计过流1180~2980h,从外表看经过含沙水流冲刷后表面灰浆仍保留,虽然采用大面积不分缝连续喷护,除个别部位有少量细缝外,未发现有贯通性裂缝和剥落现象。据测量,一个汛期平均磨蚀约0.5~1mm,室内试验28d平均抗压强度达85.5MPa,现场试验抗压强度为61.4MPa,抗拉强度3.45MPa。总的来说,采取喷射高强砂浆的施工方法是成功的,解决了多泥沙河流泄流工程在已建建筑物边墙上增设抗磨层的难题。

3.2.5 钢板

三门峡的试验表明,钢材的抗磨性能低于铸石板、环氧砂浆和真空作业混凝土。如5~8号钢管的30号钢板镶护层和水轮机组过水部件表面的铬五铜抗磨层,经过一个汛期过水,即受到严重冲蚀破坏。钢板的抗泥沙磨损能力是比较低的,流速超过 $10\text{m}/\text{s}$,就会造成磨蚀。

3.2.6 石英水泥砂浆

二次改建时期,3号底孔底板涂抹石英水泥砂浆抗磨层做试验,该砂浆用500号水泥拌制,水灰比0.35,灰砂比1:1.37,抗压强度(28d)60MPa。经过泄流排沙运用192d,检查发现没有剥离和大的坑洞,但

表面磨蚀较严重,出口段较检修闸门后面的更为严重,表面普遍磨掉5mm以上。试验表明:由于当砂浆凝结水化后,剩余的水分蒸发,形成很多小气泡,而泥沙的矿物质硬度较大,又是多角和尖角,在砂粒的冲击或涡流的作用下,逐渐被磨蚀。

三门峡二期改建时期曾做过抗空蚀试验,选用几种材料进行抗磨蚀和空蚀对比,具体结果见下表。

抗磨蚀、空蚀对比表

材 料	环氧 砂浆	钢纤维 砂浆	钢纤维 混凝土	高强 混凝土	高强 砂浆	石英 砂浆
试件抗压强度/MPa	94.9	98.4	84.9	67.3	73.3	67.1
平均空蚀率/(g/h)	0.24	0.35	0.4	0.54	0.84	1.92
抗空蚀强度相对值	8.01	5.49	4.81	3.56	2.29	1.00
平均磨蚀率	0.79	2.84	2.32	2.16	3.04	1.63
抗磨蚀强度相对值	3.87	1.07	1.31	1.41	1.00	1.86
相对单价/元	15.14	4.83	4.94	0.78	1.00	3.86

试验表明:在相同水流条件下,材料抗空蚀、磨蚀能力大小次序为环氧砂浆、钢纤维砂浆、钢纤维混凝土、高强混凝土、高强砂浆、石英砂浆。环氧砂浆抗磨蚀能力最好,但也成本最高,比其他材料至少高出3倍;高强混凝土成本最低,但抗磨蚀能力比环氧砂浆低。

4 结 语

a. 环氧砂浆和高强度砂浆在三门峡枢纽的运用中比较成功,适合在多泥沙河流枢纽中推广运用。

b. 各个抗磨材料都有不同的特性,不同的过流部位要选用不同的抗磨材料和采用合适的抗磨措施。

c. 根据三门峡枢纽孔洞的磨损情况,近年来基本上每年要安排1~2个孔洞大修。抗磨层在高含沙水流作用下,并不能做到一劳永逸,必须加强维修和养护。

d. 在这一领域内的新材料、新工艺不断出现,需研究引进适合工程条件的、性价比更好的抗磨材料和施工工艺,以延长抗磨层的使用寿命,减缓高速含沙水流对孔洞的破坏,减少孔洞大修的频次。◆

参考文献

黄河三门峡水利枢纽志编纂委员会. 黄河三门峡水利枢纽志[M]. 北京:中国大百科全书出版社,1993.