

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.03.015

襄阳市鱼梁洲东线沉管对接端止水墙爆破拆除*

杜少卿¹, 赵根¹, 黎卫超¹, 王金绪²

(1. 长江水利委员会 长江科学院 水利部岩土力学与工程重点实验室, 武汉 430010;

2. 中交第二航务工程局有限公司, 武汉 430040)

摘要: 沉管对接端止水墙采用机械拆除困难大, 采用爆破拆除更为经济高效, 然而在距重要结构近且施工技术要求高等情况下采用爆破拆除仍较困难。结合襄阳鱼梁洲东线沉管隧道对接端止水墙爆破拆除实例, 介绍了在水深大、壁厚薄且施工作业面狭窄、距被保护建筑物近以及存在一级水保生物等复杂条件下的止水墙爆破拆除施工作业技术。两道止水墙爆破拆除前均采用地质钻在宽度为 1.2 m, 水下最大深度超过 18 m 的止水墙顶布设炮孔。东汉止水墙按照设计炸药单耗 1.28 kg/m³ 进行爆破, 达到了预期拆除效果, 且与爆源相邻的地连墙永久支护最大峰值振速为 8.16 cm/s, 离爆源较近的首节待浮运沉管最大峰值振速为 3.7 cm/s, 水击波最大超压峰值为 0.786 MPa, 均未造成影响。在总结东汉爆破并考虑东津止水墙实际情况的基础上优化了东津的爆破方案, 设计炸药单耗由 1.33 kg/m³ 调整为 1.02 ~ 1.33 kg/m³, 不仅达到了预期的拆除效果, 爆破振动和水击波也进一步减弱, 地连墙永久支护最大峰值振速为 7.49 cm/s, 离爆源最近的暗埋段主体最大峰值振速为 5.03 cm/s, 水击波最大超压峰值为 0.592 MPa, 且均未造成影响。

关键词: 沉管隧道; 止水墙拆除; 振动; 水击波

中图分类号: TU746.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-487X(2021)03-0088-07

Blasting Demolition of Water Stop Wall at Butt End of Immersed Tube in Yuliangzhou East Line of Xiangyang City

DU Shao-qing¹, ZHAO Gen¹, LI Wei-chao¹, WANG Jin-xu²

(1. Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of Ministry of Water Resources, Yangtze River Science Research Institute, Wuhan 430010, China;

2. CCC Second Harbor Engineering Company Ltd, Wuhan 430040, China)

Abstract: It is difficult to demolish the water stop wall at the butt end of immersed tube by machinery, and it is more economical and efficient to demolish it by blasting. However, it is still difficult to demolish it by blasting when it is close to the important structure and requires high construction technology. Combined with the example of blasting demolition of water stop wall at the butt end of immersed tube tunnel on Yuliangzhou east line in Xiangyang, the paper introduces the blasting demolition construction technology of water stop wall under the complex conditions of large water depth, thin wall, narrow construction working face, close to the protected buildings and the existence of first-class soil and water conservation organisms. Before the blasting demolition of the two water stop walls, the geological drill is used to arrange the blast holes on the top of the water stop wall with the a width of 1.2 m and the maximum underwater depth of more than 18 m. According to the design explosive consumption of 1.28 kg/m³, the East branch water stop wall was demolished, and the expected demolition effect was achieved. The maximum peak vibration velocity of the permanent support of diaphragm wall adjacent to the explosion source was 8.16 cm/s, the maximum peak vibration velocity of the first section of immersed tube to be floated near the explosion source was 3.7 cm/s, and the maximum overpressure peak of water hammer wave was 0.786 MPa. Based on the summary of Dongcha blasting and considering the actual situation of Dongjin water stop wall, the blasting scheme of Dongjin is optimized. The designed

explosive consumption is adjusted from 1.33 kg/m^3 to $1.02 \sim 1.33 \text{ g/m}^3$, which not only the expected demolition effect is achieved, but also the blasting vibration and water shock wave are further weakened. The maximum peak vibration velocity of the permanent support of the diaphragm wall is 7.49 cm/s , The maximum peak velocity of the buried section closest to the explosion source is 5.03 cm/s , and the maximum overpressure peak value of water hammer wave is 0.592 MPa , all of which have no influence.

Key words: immersed tunnel; water stop wall removal; vibration; water hammer wave

干坞型沉管作为常见的内河沉管隧道修建方式,施工时需要修建如:钢管桩围堰、混凝土防渗墙或混凝土防渗墙与钢管桩组合的临时挡水结构。临时挡水结构若采用爆破拆除就涉及到了水下爆破技术,近年来,我国关于水下爆破的规律研究较多,如费鸿禄,刘晓宇等基于量纲分析理论,考虑爆破振速监测点与爆源之间的地形影响因素,引入海水深度影响因子,提出了水下深埋岩石爆破质点峰值振速公式^[1]。司剑锋,钟东望通过小当量药量水下爆炸产生的冲击荷载,循环作用于高强石膏粉浇模成型的标准试样上,得到了水下类岩石材料在水下冲击波循环荷载下的累积损伤规律^[2]。赵根,吴新霞等针对爆破参数、器材及网路的合理性进行现场试验,并对不同水压差下的爆破石渣运动形态进行水工模型试验,解决了高水压条件下的岩塞钻孔爆破贯通成型、石渣运动控制等难题^[3]。此外水下爆破拆除成功的工程实例也很多,如:三峡三期 RCC 围堰拆除^[4-6],水下岩坎爆破拆除等等^[7-9]。这些理论和规律的研究以及工程经验的积累推动了水下爆破技术的发展。值得注意的是前述工程中止水结构一般壁厚较厚,爆破施工相对简单。但对于实际施工条件复杂,尤其是壁厚较薄,施工作业面狭窄且距被保护建筑物近以及存在一级水保生物等复杂条件下的坞门止水墙(防渗墙)的水下爆破拆除却鲜有报道,若采用机械拆除困难极大,采用爆破拆除也是一次较为新颖的尝试。以湖北省襄阳市鱼梁洲东线沉管隧道(东汉、东津)坞门止水墙爆破拆除为例,在综合考虑各种爆破拆除难点的基础之上,通过制定安全可靠爆破方案,并在东汉止水墙爆破完成后根据实际爆破效果及时优化了东津端的药量和孔网参数,加强了安全防护措施,从而安全精准地拆除了东线止水墙,使爆破危害得到控制。此次爆破可为类

似工程提供参考。

1 工程概况

1.1 基本情况

襄阳市东西轴线道路工程是中心城区“四横五纵两环九放射”主干路网结构的重要组成部分。其中,隧道工程主要包含樊城明挖隧道 314 m 、西汉沉管 351 m 、鱼梁洲暗埋段 3580 m 、东汉沉管 660 m 、东津明挖隧道 495 m 。东汉和西汉沉管段均采用轴线干坞预制,即干坞布置在隧道轴线岸上段主体结构位置。图1、图2分别为东汉和东津止水墙结构平面图。全线对接端止水墙分两期拆除:首先拆除东线的东汉、东津对接端止水墙,其中,东汉止水墙长为 44.8 m ,深为 66.3 m ,需拆除上部近 20 m 范围,其中水下约 16 m ;东津止水墙长为 43.6 m ,深为 44.51 m ,厚度均为 1.2 m ,需拆除上部近 27 m 范围,其中水下约 23 m ;材料均为塑性混凝土,强度均为 $5 \sim 10 \text{ MPa}$ 。

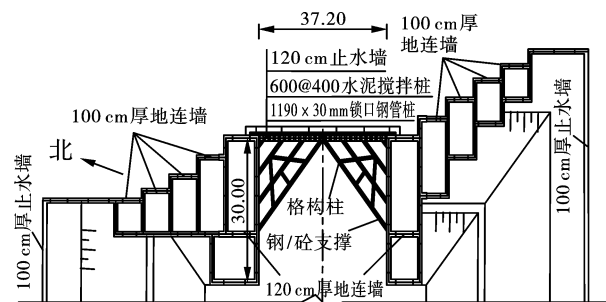


图1 东汉止水墙结构平面图(单位:m)

Fig. 1 Structural plane of Dongcha water stop wall(unit:m)

1.2 周边环境

东汉对接端周边重要构筑物包括:坞门两侧地连墙永久支护结构,距坞门直线距离 45 m 的待浮运沉管,距坞门直线距离 345 m 的污水处理厂球型罐体;东津对接端周边重要构筑物包括:对接端两侧地连墙永久支护结构,距对接端直线距离 9 m 已现浇成型的暗埋段隧道主体结构,对接端北侧直线距离 138 m 的城市景观河水闸,距对接端直线距离约 220 m 的新建图书馆、泵房以及周边的民房等。东汉对接端周边环境见图3,东津现场环境见图4。

收稿日期:2021-03-23

作者简介:杜少卿(1996-),男,山东高密人,硕士研究生,从事工程爆破方面的研究,(E-mail)3299626583@qq.com。

通讯作者:赵根(1965-),男,江苏海门人,长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室,教授级高级工程师、博士,主要从事工程爆破设计、科研、安全评估及技术咨询等工作,(E-mail)wuh_zhaogen@126.com。

基金项目:中央科研业务费项目(CKSF2019477/YT);中央科研业务费项目(CKSF2019193/YT)

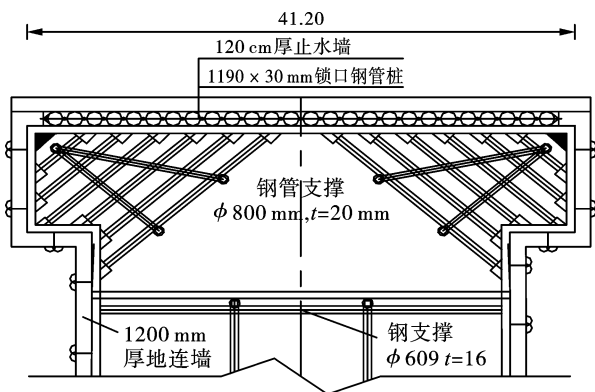


图2 东津止水墙结构平面图(单位:m)

Fig. 2 Structural plane of Dongjin water stop wall(unit:m)



图3 东汊对接端周边环境

Fig. 3 Environment around the junction of the Dongcha



图4 东津对接端周边环境

Fig. 4 Environment around the junction of Dongjin

1.3 爆破拆除难点分析

虽然襄阳市东西轴线鱼梁洲段沉管隧道对接端止水墙是材料强度为5~10 MPa的塑性混凝土,看似容易拆除,但实际拆除难度仍较大,爆破重难点仍较多。

1) 塑性砼止水墙与地连墙永久支护结构紧邻,

东汊止水墙距待浮运沉管45 m,东津止水墙距暗埋段隧道主体结构仅8 m,爆破有害效应的控制是本次爆破拆除的重大难点。

2) 两道止水墙拆除高度在18~26.5 m之间,且宽度仅有1.2 m,是典型的薄墙结构,爆破作业面窄,且凹凸不平,钻孔难度大,施工效率低,施工进度控制难度大。

3) 工程地处一级水源地,水中长春鳊为国家一级保护动物,如何有效控制污染源,做好零排放,存在很高的难度。

2 爆破安全控制标准

1) 爆破振动控制标准

《爆破安全规程》^[10](GB6722—2014)中未明确规定爆破近区的钢筋混凝土结构的爆破振动安全标准。因此需要进行爆破振动计算,具体计算过程如下。

暗埋段隧道主体及所有岸堤永久支护结构距爆破源很近,在爆破近区,爆破应力波直接传入被保护物,从而产生较大的应力、应变。混凝土构件抗压强度较高,其动力破坏主要表现为受拉破坏或受剪破坏,即被保护物某点主控应力或最大剪应力超过抗压或抗剪强度时,即发生破坏。如果已知被保护物的动抗拉强度和动抗剪强度,根据式(1)、(2)可得爆破近区质点振动速度公式(3)、(4),具体如下

$$\sigma = K_o \rho V_p c_p \tag{1}$$

$$\tau = K_\tau \rho V_s c_s \tag{2}$$

式中: K_o 、 K_τ 是与场地特征有关的系数; ρ 为被保护物的密度, kg/m^3 ; c_p 、 c_s 为被保护物弹性波纵波速度与横波速度, m/s ; V_p 、 V_s 为与波传播方向一致及与波传播方向垂直的质点振动速度, m/s 。

$$V_p = \sigma / K_o \rho c_p \tag{3}$$

$$V_s = \tau / K_\tau \rho c_s \tag{4}$$

由《水电工程水工建筑物抗震设计规范》^[11](NBT35047—2015)规定:混凝土动态强度的标准值可较其静态标准值提高20%,动态抗拉强度的标准值可取其动态抗压强度标准值的10%,已知C35混凝土材料参数如表1所示。

表1 C35混凝土材料参数

Table 1 Material parameters of C35 concrete

抗压强度标准值/MPa	抗拉强度标准值/MPa	动弹性模量/GPa	密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^3)$	泊松比	抗剪强度标准值/MPa
23.4	2.20	37.95	2450	0.167	3.20

则可知C35混凝土的动态抗拉强度为2.81 MPa。对钢筋混凝土地连墙支护和暗埋隧道主

体而言,其力学指标 ρ 、 c_p 、 c_s 均可知,其结构尺寸及形状一定, K_o 、 K_τ 变化不大,可取为1。而 c_p 、 c_s 可通

过无限介质中应力波波速式(5)、(6)计算

$$C_p = [(\lambda + 2\mu)/\rho]^{1/2} \quad (5)$$

$$C_s = (\mu/\rho)^{1/2} \quad (6)$$

式中: λ 、 μ 为拉梅常数。

故C35混凝土的纵波波速为4091 m/s,横波波速为2740 m/s。因此通过式(1)、(2)可知暗埋隧道主体和地连墙永久支护是以受拉破坏为主。

综上,根据式(3)可得爆破近区的暗埋隧道主体和地连墙永久支护的质点最大振速为28.04 cm/s,由于是估算,为了留出足够的安全富余,考虑将式(3)所得振速乘以0.7的折减系数,因此,爆破近区暗埋隧道主体和地连墙永久支护的控制振速为19.63 cm/s。

对于爆破中远区的被保护结构物,则根据《爆破安全规程》^[10](GB6722—2014),参考相关结构物的安全阈值,取一个合理的安全控制标准,具体如表2所示。

表2 爆破安全振速控制标准

Table 2 Control standard of blasting safety vibration velocity

防护对象	允许质点振动速度/(cm·s ⁻¹)		
	$f \leq 10$ Hz	10 Hz < $f \leq 50$ Hz	$f > 50$ Hz
暗埋段 隧道主体		19.63	
岸堤永久 支护及水闸			
预制沉管	7	8	10
民房	1.5	2.0	2.5
泵房、污水厂罐体 及新建图书馆	2.5	3.5	4.5

2) 爆破水击波控制标准

由于混凝土抗压强度高,且此次爆破产生的动水压力是由塑性混凝土和钢管桩中传入水中产生的,不同于水中直接爆炸产生的水击波,且从以往工程来看,压力均小于1 MPa,因此混凝土结构可不考虑水击波或动水压力对结构的直接破坏。按照《爆破安全规程》^[10](GB6722—2014)中“水中冲击波超压峰值对鱼类影响安全控制标准”的规定,并参考以往工程经验,综合分析确定了沉管对接端止水墙拆除爆破水击波控制标准,见表3。

3 爆破拆除设计

钻孔以爆破孔为主,但考虑到待浮运沉管,地连墙永久支护结构等距爆源较近,且须保护水环境和水生物,所以止水墙两端辅之以减震孔并设气泡帷幕等减震措施。爆破后再进行水下出渣和锁口钢管桩的拆除。

表3 爆破安全水击波控制标准

Table 3 Control standard of blasting safety water hammer wave

防护对象	允许水击波压力/MPa	备注
沉管封门	0.6	钢结构
石首科鱼类 (高度敏感)	0.1	
石斑鱼、鲈鱼、 梭鱼(中度敏感)	0.30 ~ 0.35	自然状态下的 汉江鱼类
野鲤鱼、鲟鱼、 比目鱼(低度敏感)	0.35 ~ 0.50	

3.1 爆破器材抗水试验

由于电子雷管抗水性差,深水条件下常规乳化炸药存在受先起爆炸药水击波“减敏”作用而出现“压死”现象,最终导致拒爆等问题^[12],因此要对可能出现拒爆、部分失去雷管感度的原因以及电子雷管的抗水性能进行试验。分析炸药及电子雷管在水中爆破的可靠性,若试验中出现拒爆,找到解决拒爆问题的措施,避免后续爆破作业时出现盲炮。

根据装药结构,共进行5组抗水抗压试验,第1组为4节 $\phi 60$ mm 乳化炸药连续绑扎,1发电子雷管置于顶部第2节炸药中,正向起爆;第2组为4节 $\phi 60$ mm 乳化炸药采用单股导爆索连续绑扎,1发电子雷管绑扎在导爆索端部,正向起爆;第3组为4节 $\phi 60$ mm 乳化炸药采用双股导爆索连续绑扎,1发电子雷管绑扎在导爆索端部,正向起爆;第4组为6节 $\phi 32$ mm 乳化炸药采用单股导爆索连续绑扎,1发电子雷管绑扎在导爆索端部,正向起爆;第5组为2节 $\phi 60$ mm 乳化炸药和3节 $\phi 32$ mm 乳化炸药采用单股导爆索连续绑扎,1发电子雷管绑扎在导爆索端部,正向起爆。

然后将绑扎好的药柱放入承压筒中,并在承压爆破筒底部的盲板上标记,将5组承压筒全部加压至0.25 MPa,做好警戒后,放置6 h。6 h后检查承压筒,密封性能好,压力稳定维持在0.25 MPa,然后做好警戒及其他安全措施,激发雷管起爆。起爆后,雷管均正常起爆,但第1组中第一节炸药拒爆,其余4组试验的乳化炸药完全爆轰。图5为0.25 MPa水压条件下爆破前后情况对比图。

因此,电子雷管在25 m水深条件下能够正常起爆;乳化炸药在25 m水深条件下,能被电子雷管正常引爆,但不能可靠传爆;在25 m水深条件下采用导爆索能够可靠起爆乳化炸药并正常传爆,采用双股导爆索能够保障炸药在孔内可靠传爆。



图5 0.25 MPa水压条件下爆破前后情况

Fig. 5 Conditions before and after blasting under water pressure of 0.25 MPa

3.2 爆破参数

(1) 爆破设计参数

1) 孔径、孔深及超深

根据文献[13]水下砖石混凝土爆破可知,对于钻孔爆破药量计算有如下公式

$$Q = mc\omega^2 L \quad (7)$$

式中: Q 为爆破所需装药量,kg; m 为材料强度系数,无钢筋混凝土取1.5~1.8; c 为装药系数,条形药包取2.0~3.0; ω 为破坏半径或需破坏厚度,m; L 为条形药包长度,m。

此处, m 取1.65, c 取2.5,考虑到沉管对接端止水墙拆除时存在钢管桩的影响,将炮孔布置于靠钢管桩一侧, ω 按0.7 m计,则1 m长度装药量为 $Q = 2.02$ kg。

炮孔直径对凿岩生产率、炮孔数目和单位耗药量均有影响,一般深孔爆破的炮孔直径在50~150 mm之间。经计算,线装药量为2.02 kg/m,而炮眼直径与药径之间保留一定的空隙,致使乳化炸药的装药密度一般为0.75~0.85 g/cm³,用炮棍严密捣实的情况下能将装药密度提高到0.9 g/cm³以上,因此炮孔的直径应大于50 mm。考虑到所有塑性混凝土止水墙厚度仅1.2 m,孔深均超过18 m,即使在墙中轴线上钻孔,孔底偏差大于0.6 m就会钻穿。因此,为保证钻孔垂直精度,采用液压岩心钻机钻孔,钻孔孔径均取75 mm。

为避免止水墙留根底影响后期沉管安装,孔深均超深钢管桩切割位置1.5 m,结合干坞坞门及对接端需要拆除的高度,钻孔孔深为20~28 m,其中东汉、东津对接端钻孔孔深分别为20 m、28 m。

2) 炸药单耗

此处止水墙为塑性混凝土,抗压强度5~10 MPa,其坚固性系数 f 为0.5~1.0,根据文献[13]可知,基本单耗 q 取0.4 kg/m³。考虑受水深影响的炸药爆速降低系数,文献[12]提出了如下修

正公式

$$q_{\text{水}} = q_{\text{陆}} / k_D^2 + 0.01H_{\text{水}} + 0.02H_{\text{覆}} + 0.03H_{\text{梯}} \quad (8)$$

式中: $q_{\text{水}}$ 为水下钻孔爆破的炸药单耗,kg/m³; $q_{\text{陆}}$ 为相同介质的陆地爆破炸药单耗,kg/m³; $H_{\text{水}}$ 为覆盖层以上的水深,m; $H_{\text{覆}}$ 为覆盖层厚度,m; $H_{\text{梯}}$ 为钻孔爆破的梯段高度,m; k_D 为水下炸药爆速降低系数。

由式(8)可知,水深越深,钻孔梯段高度越高,水下爆破的单耗越高,此处非完全水下爆破,考虑水下炸药爆破降低系数为0.9,经计算可知,东汉对接端、东津对接端的单耗分别为1.28 kg/m³、1.55 kg/m³。

3) 孔网参数

止水墙的厚度均为1.2 m, ϕ 60 mm乳化炸药的线装药密度约为3.0 kg/m,则东汉对接端东津对接端的孔间距分别为1.96 m、1.61 m。为尽量避免爆破对止水墙内侧锁扣钢管桩的破坏,同时避免其变形,以便于其顺利拔出,同时,为了避免出现个别大块影响后期水下清渣,将炮孔布置在两根锁扣钢管桩之间的咬口连接处,则炮孔间距均为1.48 m。考虑到止水墙内侧锁扣钢管桩,使炮孔轴线偏向止水墙中线内侧10 cm,使外侧的抵抗线为70 cm。

最大单段药量及总药量。根据地震波衰减规律公式,确定东汉最大段药量为47.4 kg,总装药量1327.2 kg;东津设计最大单段药量为66.9 kg,总装药量为1940.1 kg。

(2) 现场优化后的爆破参数

由于东津存在部分堵塞孔,并且考虑东汉止水墙的爆破效果,对东津止水墙部分爆破参数进行了优化。

1) 炸药单耗。东津对接端止水墙炸药单耗由1.33 kg/m³调整为:1.02~1.33 kg/m³。

2) 孔网参数。东津止水墙共设置29个主爆孔,编号Z1~Z29,爆破之前清除止水墙上覆土后拔掉铁套管孔深由28 m变为26.5 m,超深1.5 m。但部分炮孔由于在用水枪清理覆土时未保护好,导致若干石块掉入孔内堵塞孔底。虽用空压机清孔,但最终仍未达到设计值26.5 m;此外设置6个减震孔,编号J1~J6,两侧各3个,间距0.5 m,孔深26.5 m。所有孔均垂直布置。

3) 堵塞长度。优化后增加了堵塞长度,由1.5 m改为2.5 m。

4) 最大单段药量及总药量。优化后最大单端药量变为63.3 kg,总装药量变为1712.7 kg。

3.3 装药结构

为避免爆破振动过大或爆破飞石,采取

$\phi 60$ mm 和 $\phi 32$ mm 乳化炸药连续组合装药结构, 减弱水上部分的单耗, 具体如下:

东汉止水墙。先将 36 节 $\phi 60$ mm 炸药连续绑扎在竹片尾部, 再采用 14 节 $\phi 32$ mm 炸药连续绑扎在竹片顶部制作成炸药柱, 单孔装药量 47.4 kg, 孔口堵塞长度 1.5 m。

东津止水墙。爆破设计为先将 52 节 $\phi 60$ mm 炸药连续绑扎在竹片尾部, 再接着用 15 节 $\phi 32$ mm 炸药连续绑扎在竹片顶部制作成炸药柱, 单孔装药量 66.9kg; 但综合考虑现场部分炮孔堵塞, 且未能及时清理, 以及东汉止水墙爆破效果决定重新调整装药结构, 见表 4, 孔口堵塞长度增加至 2.5 m。

3.4 起爆网路

基于爆破试验所得结果, 采用双股导爆索绑扎, 起爆网路为单孔单段。

东汉止水墙由南侧顺序向北侧传爆, 段间时差

17 ms, 总延时 459 ms。

表 4 东津止水墙装药参数表

Table 4 Charging parameters of Dongjin water stop wall

孔号	$\phi 60/\phi 32$ 炸药节数	装药量/kg
Z1	26/43	44.1
Z29	26/41	43.5
Z13	35/16	46.8
Z16	31/16	42.0
Z26	43/26	59.4
Z2、Z14	43/16	56.4
Z22	25/16	34.8
其他孔	49/15	63.3

经过对东汉止水墙拆除爆破的简单总结, 对东津起爆网路进行了优化, 起爆网路由南侧逐孔向北侧的起爆方式调整为由南北两侧向中间逐孔起爆, 段间时差由 17 ms 增加到 25 ms。图 6 为起爆网路图。

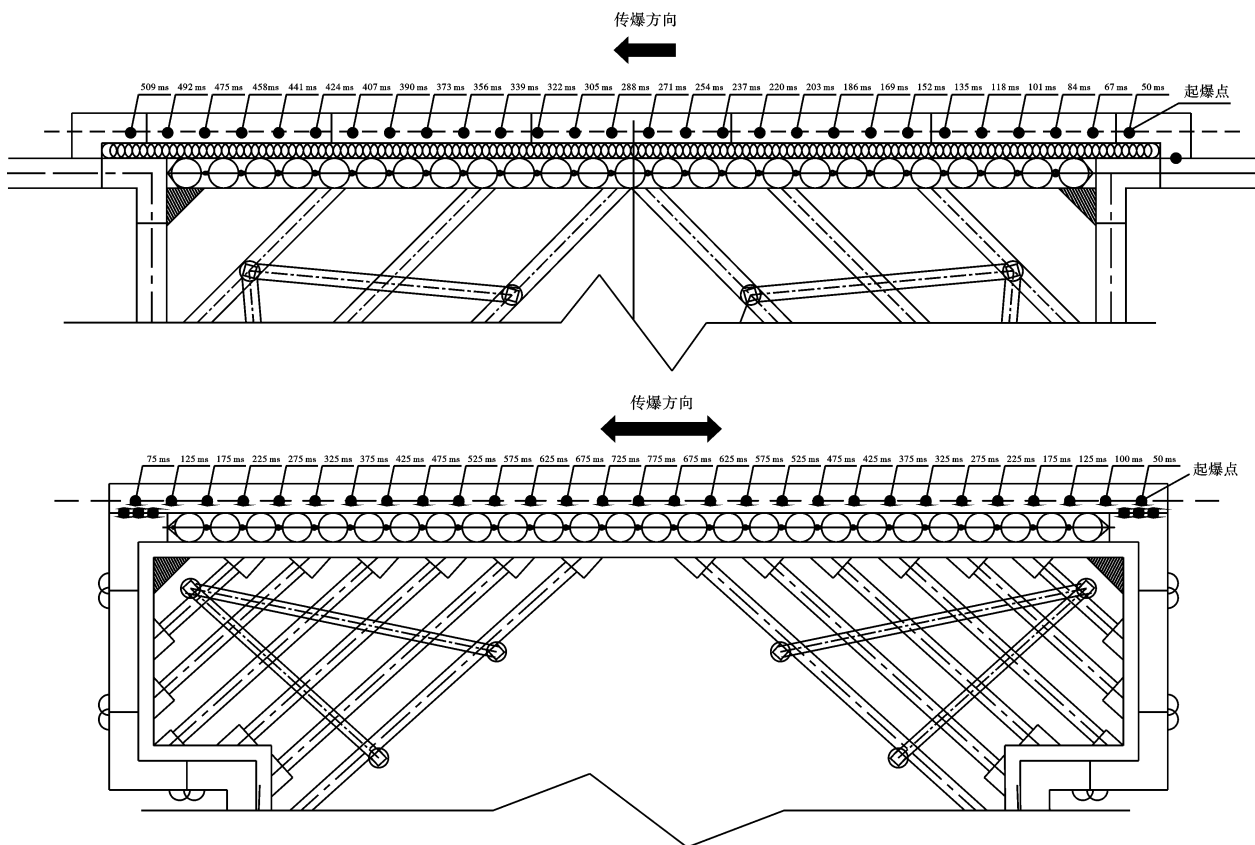


图 6 起爆网路图(自左而右分别为东汉、东津止水墙)

Fig. 6 Initiation network diagram(Dongcha and Dongjin water stop walls from left to right)

4 爆破效果

襄阳东西轴线沉管隧道对接端(东汉、东津)止水墙爆破分别在 2020 年 10 月 28 日 17 时 08 分和 10 月 29 日 16 时 28 分起爆。

东汉止水墙达到预期拆除效果, 振动速度低于

设计标准, 被保护结构物未见损伤, 水击波也未造成长春鳊伤亡; 在总结东汉止水墙爆破作业的基础上通过优化东津装药结构, 起爆网路以及增加防护措施, 使振动和水击波进一步减弱, 总体爆破效果良好。表 5、表 6 为关键位置爆破振动监测结果。表 7 为水击波监测结果。

表 5 东汉止水墙爆破振动监测结果

Table 5 Monitoring results of blasting vibration of water stop wall in Dongcha

测点 编号	测点部位	爆心距/m	X方向		Y方向		Z方向		$V_{\text{允许值}}/$ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
			振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	频率/ Hz	振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	频率/ Hz	振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	频率/ Hz	
1	地连墙(南)	32	6.52	11.8	7.20	19.1	3.81	64.0	8.0
2	地连墙(北)	32	4.20	8.6	7.49	17.1	4.26	50.0	8.0
3	暗埋段主体	32	3.48	12.8	5.03	7.7	3.87	22.0	10.0
4	景观河水闸	138	1.30	8.3	0.80	3.9	1.05	8.3	8.0
5	图书馆	220	0.09	7.6	0.05	6.1	0.18	5.4	3.5

表 6 东津止水墙爆破振动监测结果

Table 6 Monitoring results of blasting vibration of water stop wall in Dongjin

测点 编号	测点部位	爆心距/ m	振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	频率/ Hz	振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	频率/ Hz	振动速度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	频率/ Hz	$V_{\text{允许值}}/$ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	地连墙(南)	20	8.16	53.3	7.95	35.4	6.44	28.7	8
2	地连墙(北)	20	7.96	83.7	7.91	51.7	8.07	80.9	8
3	首节待浮运沉管 E6	45	1.35	102.0	1.12	228.0	3.70	76.0	10
4	污水处理厂球形罐体	345	0.20	4.0	0.29	3.5	0.15	3.1	5

表 7 (东津、东汉)止水墙爆破水击波监测结果

Table 7 Monitoring results of water hammer wave of water stop wall blasting in Dongjin and Dongcha

测点位置	爆破位置	至爆心水平距离/m	超压峰值/MPa
待浮运沉管		45	0.002
汉江水域 1	东汉	20	0.786
汉江水域 2	止水墙	40	0.406
汉江水域 3		167	0.032
汉江水域 A	东津	30	0.592
汉江水域 B	止水墙	60	0.120
汉江水域 C		90	0.068

5 结语

(1)根据襄阳市鱼梁州东线止水墙复杂的施工条件进行合理的爆破设计是此次止水墙成功拆除的关键,基于止水墙的材料参数并考虑所处深水条件合理设计爆破参数,并在爆破之前对深水下爆破器材的抗水和抗压性能进行试验,得出采用双股导爆索才能保证炸药在水下正常起爆并可靠传爆的结果,最后合理设计爆破网路与起爆间隔并在东汉止水墙成功拆除的基础上优化东津的起爆网路,延期时间以及装药结构等,从而更加安全精准的拆除了东津止水墙。

(2)根据爆破安全规程以及地震波传播理论等制定了爆破安全控制标准,并在此基础上布设减震孔,设置气泡帷幕。水击波近区超压峰值虽较高但衰减较快,影响很小,调查后未见汉江中一级水保生物长春鳊的伤亡,其他鱼类也未见损伤。重要结构

如:地连墙永久支护,首节待浮运沉管,暗埋段主体结构等的振动速度也完全符合控制标准中的要求。

(3)襄阳汉江沉管隧道止水墙水深大,壁厚薄,施工作业面狭窄,距重要建筑结构近以及存在一级水保生物等复杂的施工条件是本工程的显著特点,采用液压岩心地质钻进行炮孔布设是爆破施工中较为创新的尝试,合理的爆破设计加之合理的安全防护措施保证了襄阳东线止水墙的成功拆除,并为类似工程积累了经验。

参考文献 (References)

- [1] 费鸿禄,孙晓宇,关福晨,等.水下深埋岩石爆破振动衰减规律研究[J].爆破,2020,37(3):26-33.
- [1] FEI Hong-lu,SUN Xiao-yu,GUAN Fu-chen,et al. Study on vibration attenuation law of underwater deep buried rock blasting[J].Blasting,2020,37(3):26-33. (in Chinese)