穿黄隧洞高强度环锚预应力一次性张拉 施工工艺研究

李 霞, 王吉成

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 610081)

摘 要:南水北调穿黄隧洞采用后张法有粘结环形环锚预应力混凝土双层衬砌结构,衬砌厚度为45 cm,钢筋密集,预应力张拉为一次性张拉,张拉难度较大。介绍了该工程的施工难点,分析总结了薄壁环锚预应力混凝土张拉的施工工艺及其创新方案,可为今后同类型工程提供技术参考。

关键词:穿黄工程;薄壁环锚预应力;一次性张拉;施工工艺

中图分类号: TV52; TV554

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2015)06-0052-03

1 工程概述

南水北调穿黄隧洞位于河南省郑州市以西 30 km 处的孤柏山弯横穿黄河,隧洞全长 4 250 m。隧洞为双线布置,断面为底板加边顶拱圆断面,内径 7 m,外径 8.7 m。除需承受外部水、土荷载外,还要承受大于 0.5 MPa 的内水压力;最小曲线半径 800 m,为大型压力输水隧洞。内衬采用现浇法施工,为后张法有粘结环形预应力钢筋混凝土结构,厚 45 cm,其为国内外工程中较为罕见的薄壁结构,且一次性张拉,较国内外同类型工程施工难度大。环形预应力锚索间距为 45 cm,衬砌标准段(长度 9.6 m)共设置 21 束锚索,每束由 12 根预应力钢绞线集束而成,共计 9 184 束。底部设 3.1 m 宽平台。

2 环锚张拉施工的难点

该工程预应力锚索工程量为 9 184 束,工程量大。锚索间距 45 cm,工作面钢筋分布紧密,洞内施工狭窄,操作空间小。

环锚张拉预应力施工高强度快速穿锚部分的施工难点为:现场在绑扎钢筋中,由于受钢筋设计尺寸限制,钢筋安装基本无调整空间,安装极为困难,且箍筋接头全部放在底部,造成了下部无人料空间,穿锚难度大、精度要求高。一次性预应力张拉的难点在于:混凝土衬砌厚度极薄,为45 cm 且环锚一周槽口位置仅有一个,即为一次性张拉,张拉强度不宜控制,张拉过程中的过大拉力或出现应力集中都会造成断丝或混凝土出现裂纹,进而导致张拉失败(表1)。

表 1	느므	 	∃*#+-	ᄽᄯᅮᇄ	10年日 40	度比较表
রহ ।	ᄀᄧᄼ	יויועוי	ᇚᆓᄱᄼ	ᄾᄱᆛᅬ	生勿 作	足比较液

项目名称	长度/(高度) /m	内径 /m	衬砌厚度 /m	张拉控制力 /kN	槽口布置 /个	难易程度
SanFiorimo 水电站 调压井(意大利)	99	8.2	0.8	2 180	3	易
Grimsel 抽水 蓄能水电站(瑞士)	60	6.8	0.6	1 110	6	易
Chioras piastra 抽水蓄能 电站引水洞(意大利)	62	6.1	0.6	1 081	2	易
隔河岩水电站引水隧洞	460	9.5	0.75	2 268.5	1	较难
天生桥一级水电站引水隧洞	390	9.6	0.7	3 000	1	较难
小浪底水电站排沙洞	1 100	6.5	0.65	1 395	1	较难
南水北调中线穿黄隧洞	4 250	7	0.45	2 350	1	难

3 主要施工工艺

针对以上问题,该工程在施工过程中采取了

收稿日期:2015-10-20

各种有效措施并利用试验证明其可行性。

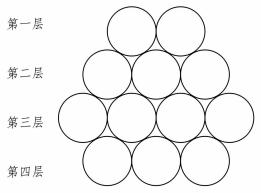
3.1 高强度快速穿锚施工工艺

对于施工空间不足的问题,专门设计了钢绞

捆扎铅丝

线堆放平台和编索平台。

为了加快穿锚速度,提高穿锚精度及后续张 拉工作的准确度,该工程对锚索进行编锚,将12 根钢绞线分为4层,利用编帘组装法进行编索,首 先将钢绞线分层:第一层2根,第二层3根,第三 层 4 根, 第四层 3 根。第一层编帘将 6#与 5#进行 捆扎;在进行第二层编帘时,对2#与1#钢绞线先 捆扎,再与9#捆扎;第三层编帘时,10#与4#进行



分层编帘及编号图

了石墨粉。对于发生牵引钢丝绳断裂或穿束不进 等现象,预应力科技小组立即研究出了解决办法。

将高位锚具槽从下端穿入环锚孔道,低位锚 具槽从上端穿入孔道。当锚索从另一端穿出后, 将锚具槽上端穿出的锚索一端作为主动张拉端, 预留出足够的环锚锚具安装和张拉长度,另一端 作为被动张拉端并预留出足够的锁定长度。由于 孔道孔径 φ90 与索体直径 φ65 及导向帽直径 φ75 之间间隙太小,导致穿索施工相当困难。

3.2 预应力张拉施工

钢绞线张拉采用双控,即以应力控制为主,同 时进行变形控制。锚索张拉过程按单根钢绞线预 紧、整束张拉分序、同序荷载分级要求进行。张拉 时应到前束张拉完成、后束安装及预紧完成,两序 和两施工段衔接紧凑,形成流水、不干扰作业,减 少无用功并缩短工时、提高张拉效率。

张拉前,根据张拉对预留槽张拉设备等的需 要提前做好准备工作。为了使张拉工作更为顺 利,该工程施工前进行了一系列试验,为后续工作 的成功打下了基础。

为了检验锚具组装件的静载锚固性能是否符 合要求,进行了环锚锚具组装件静载试验。试验 先后进行了3次,且试验在分级循环预紧后开始 第一组捆扎,3#与11#进行第二组捆扎,完成后再 将两组进行整体捆扎;第四层编帘方法同第二层。 这样实施可使锚索在张拉前、锚具安装时两端钢 绞线对应关系准确,从而避免了锚索在孔道内的 交叉叠压,减少了张拉过程中的预应力损失。具 体分层编帘及编号情况见图 1。同时,在穿索时 采用卷扬机牵引、人工辅助推送的方式。

为了减少摩擦,穿索之前,在整束锚索上涂刷



现配套组装件发生异常情况,试验结果均满足要 求。试验结果表明:由 OVM 公司生产制造的 HM15-12型锚具的锚固性能能够满足设计及规 范要求,申请批准其投入施工生产使用。

为了保证环锚施工从波纹管预埋到孔道灌浆 的整个工艺流程满足要求并测试环锚张拉过程中 预应力损失、以确保本标穿黄隧洞及邙山隧洞内 衬预应力锚索施工顺利进行,该工程于2012年4 月1日开始对环锚预应力进行生产试验,2012年 6月28日生产性试验完成,共进行了三次总结, 完善了环锚预应力施工方法。试验通过三个阶段 进行,每次试验结束召开试验总结大会,对该次试 验中出现的问题进行讨论、分析原因并提出一系列 整改方案,从而制定出下次试验的内容。其中第一 阶段为初步试验阶段,第二、三阶段分别总结了上 一阶段存在的问题,在上一阶段的基础上进行改 进,以获取更加合理的试验结果。在三个阶段的试 验过程中出现的主要问题有穿束困难、断丝、混凝 土出现裂纹等问题。试验中不断总结并分析问题 产生的可能原因,及时采取措施,在下次试验中予 以改进。对于以上问题采取的主要措施有:

(1)加强波纹管安装时的线形控制,在波纹

管起坡处到喇叭口采用五点法控制以保证线形平顺,同时布设轨道筋以确保其过渡平缓与牢固,在波纹管上设置 U 型卡以防止波纹管在混凝土浇筑振捣的作用下弯折、扭曲和变形。

- (2)加强波纹管的清理和检查。在穿束前反复 用高压风、清水和振动棒对孔道进行彻底的清理。
- (3)将工作锚板的位置在整束张拉前调整至 距上喇叭口 30 cm 处,以确保工作锚板在张拉过 程中有足够的移动空间,不至于对上喇叭口造成 较大的挤压力。
- (4)在穿束前对钢绞线束体涂刷石墨粉,以 降低钢绞线与孔道的摩阻和钢绞线相互之间的摩 擦力。

该工程施工过程中,在钢绞线上涂刷石墨粉可以降低钢绞线与孔道的摩阻和钢绞线相互之间的摩擦力,加快穿索速度,降低断丝裂纹数目,提高施工质量。但对于在钢绞线上涂刷石墨粉是否会影响钢绞线的锚固力没有有力依据,因此,特地进行了钢绞线锚固试验。试验分三组(完全涂抹、轻度涂抹、不涂抹)进行,通过三组试验取得的结果可以看出三组钢绞线的拉拔力均达到 208 kN,满足设计要求。结果表明,对每束钢绞线涂刷1 kg 石墨粉对预应力损失及水泥浆粘结力无影响。张拉前,为评估孔道摩阻系数及其对预应力效果的影响、检测 HM15 - 12 型环锚系统张拉时变角张拉装置的摩擦损失值,该工程还进行了车道平台波纹管摩阻试验和 HM15 - 12 型环锚弧形垫座摩阻损失检测试验。

张拉工序分两序、五级张拉。第一序张拉:左侧奇数号锚索按序张拉后,再进行右侧偶数号锚索按序张拉。张拉时,先对单根钢绞线进行预紧,再将锚索整束分五级进行张拉,每级张拉力递增(每级加250 kN)。第二序张拉顺序与第一序相同,不进行单根预紧,直接进行锚索整束张拉,最

终将张拉力加至 2500 kN。

张拉到最后时,对于不良锚索使用YDC240QX千斤顶自下而上逐根将压力升至计算压力进行退锚操作,按如下顺序逐根进行: $12\rightarrow 7\rightarrow 8\rightarrow 11\rightarrow 4\rightarrow 3\rightarrow 10\rightarrow 1\rightarrow 2\rightarrow 9\rightarrow 6\rightarrow 5$ 。

当压力达到并稳压后,操作人员至锚具槽侧面用工具将夹片拨出锥孔。在单根退锚将主拉端夹片全部取出之后,收缩大顶放张,利用钢绞线的收缩以退出被拉端夹片。夹片全部退出后,将机具拆除,取出工作锚板,用卷扬机牵引、人工辅助将索体退出孔道。

4 结 语

通过对国内外行业领域发展方向和水平的研究分析,针对南水北调穿黄工程中环锚预应力快速穿锚及一次性张拉施工的难点和特点展开了研究,对于工程中遇到的问题提出了解决方案并通过一系列检测和生产性试验验证其可行性,从而对现有理论和技术进行了完善与发展,取得了一套实用、创新的理论和技术成果,为类似高难度、高强度、超薄环锚预应力施工积累了成功的经验,拓展了环锚预应力的应用范围,推动了行业的发展。

该施工工艺的研究,不仅对当前南水北调穿 黄隧洞内衬环形锚索预应力施工具有重要意义, 还可为今后类似的环形锚索预应力工程提供重要 的经验数据。

参考文献:

- [1] 任海波. 无粘结环锚预应力混凝土衬砌结构优化设计研究 [D]. 天津大学建筑工程学院,2007.
- [2] 付志远,张传建,段国学,等. 穿黄隧洞衬砌1:1 仿真试验研究实施报告[R]. 武汉:长江水利委员会,2005.

作者简介:

李 霞(1976-),女,山东博兴人,工程师,从事水利水电工程施工 技术及管理工作;

王吉成(1980-),男,宁夏中宁人,项目总工程师,工程师,学士,从 事水利水电工程施工技术及管理工作.

(责任编辑:李燕辉)

(上接第51页)

全保护装置和故障自诊断能力,能以图文及中文 文字形象地显示各种参数,便于实时监控桥机运 行状态。设计上,不但在满足合同文件、标准和规 范的条件下,还采用了成熟的先进技术实现创新, 使设备在性能可靠、操作简便、维修方便的前提下 具有较高的综合性能,也使得水电站桥机在电气 控制方面具备了更高的技术水平。

作者简介:

辜建儒(1971-),男,四川仁寿人,工程师,从事起重机械电气设计 工作;

蒋从军(1964-),男,重庆市人,高级工程师,学士,从事生产技术 与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)