

文章编号:1001-4179(2013)16-0055-04

# 南水北调沙河 U 形槽环向预应力筋测力系统研究

程德虎<sup>1</sup>, 赵海涛<sup>2</sup>, 冯光伟<sup>3</sup>, 李乔<sup>1</sup>

(1. 南水北调中线干线工程建设管理局, 北京 100038; 2. 河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 211169; 3. 河南省水利勘测设计研究有限公司, 河南 郑州 450016)

**摘要:**南水北调中线工程沙河 U 形渡槽预应力钢筋数量众多, 其中单槽环向预应力筋达 71 根, 对预应力筋张拉后的应力损失进行准确、可靠测量十分重要。首先分析了试验张拉阶段, 预应力筋测力系统测值失真的原因, 进而有针对性地提出了改进措施, 如改进测力计, 自行研发定位器、中空垫板等辅助测量装置。改进后的测力系统能够真实反映预应力筋的受力状态, 为张拉施工提供了依据。

**关键词:**U 形渡槽; 环向预应力; 测力计; 南水北调中线工程

**中图分类号:** TV672.3 **文献标志码:** A

沙河 U 形渡槽为南水北调中线工程中的大型 U 形预应力渡槽之一, 也是中线工程中最长的梁式渡槽和唯一采用预制吊装方式施工的渡槽。该槽单槽跨度 30 m, 跨中断面净高 7.4 m, 侧墙厚 0.35 m, 底板厚 0.9 m, 总高 8.3 m; 端部断面侧墙厚 0.6 m, 总高 9.2 m。槽身为双向有粘结预应力混凝土结构, 槽身环向布置 71 孔  $5\Phi^{*}15.2$  钢绞线, 采用扁形锚具、扁形波纹管, 双向张拉, 槽身预应力筋布置如图 1 所示。

我国在东深供水工程中曾采用过预应力 U 形渡槽结构<sup>[1]</sup>, 为渡槽预应力张拉以及预应力损失测试提供了经验, 同时桥梁、工民建等行业预应力张拉及测力系统测试也有丰富的实践经验<sup>[2-5]</sup>。但类似沙河渡槽如此超大结构尺寸的国内外渡槽工程实例不多, 其环向预应力对槽体承载力、工作性态十分重要, 且其具有断面大、薄壁、环向预应力多束扁形布置等特点, 如何准确、可靠开展环向预应力钢筋应力损失测试并进行分析评价十分重要。为监测预应力筋有效应力, 沙河 U 形渡槽共设置 13 榀监测槽, 单榀监测槽布置锚索环向测力计 8 台。

## 1 原测力系统存在的问题

根据现场工程槽张拉施工测力计测试成果(例如第5榀槽), 预应力筋放张时部分测力计数值较设计

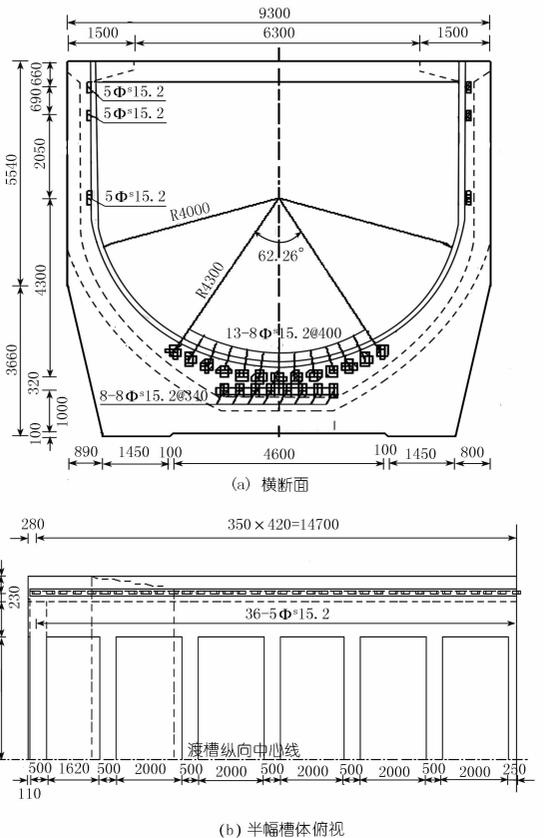


图 1 沙河梁式渡槽纵向、环向钢绞线布置(单位:mm)

收稿日期:2013-07-27

作者简介:程德虎,男,副总工程师,教授级高级工程师,主要从事水利工程建设管理及研究工作。

值偏差较大,最大时可达 48%,测力计测值与千斤顶油表值不一致。测力计反映的预应力损失远远超过设计允许值,因此分析测力计值是否真实反映了预应力筋受力状态成为沙河渡槽设计和施工的关键问题之一。通过大量工程槽(26 榦、28 榦及 44 榦)以及环形试验台扁锚张拉试验,分析导致扁锚测力计读数偏差较大主要有以下几个原因。

(1) 单孔布置环向扁锚绞线 5 根,采用 5 孔测力计,每根绞线单独穿过测力计(如图 2),绞线张拉或放张时与测力计间产生摩擦,从而影响测力计读数。



图 2 5 孔测力计

(2) 预应力钢筋、锚垫板、测力计、工作锚及千斤顶很难对中,张拉施工时测力计存在偏压现象,测力计 4 根振弦读数相差较大,会导致测力计值失真。

(3) 测力计属精密仪器,对外界受力环境尤其是受压面平整度要求较高,扁锚锚垫板与测力计接触面未经处理,较粗糙,个别锚垫板顶部凹凸不平(如图 3 所示),对测力计测值也会造成较大影响。



图 3 扁锚锚垫板

(4) 测力计出厂前进行了单独率定,千斤顶与油表也进行了联合率定,但两套测力系统未进行联合率定,存在系统间误差。

(5) 操作人员熟练程度等其他原因。

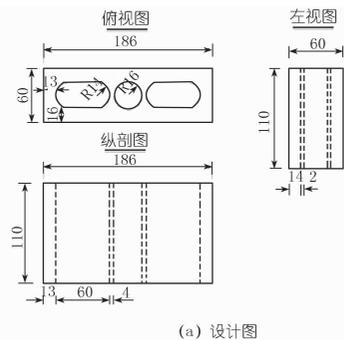
由上述分析及现场试验成果可知,环向预应力测力计测值与设计值偏离较大的主要原因在于测力计本身未反映环向预应力筋实际受力状态,需要对测力计系统进行改进与完善。

## 2 测力系统的改进

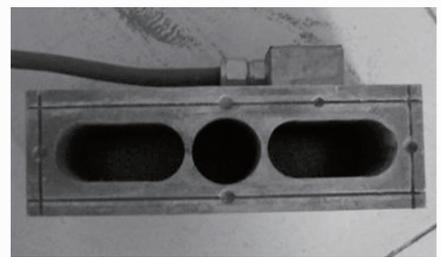
### 2.1 测力计

沙河 U 形渡槽单孔环向扁锚绞线为 5 根,原计划采用 5 孔测力计,每根预应力钢绞线分别穿过测力计

5 孔(图 2),钢绞线张拉或放张时会与测力计产生摩擦,影响测力计读数。为减少钢绞线与测力计之间的摩擦,在不改变测力计基本尺寸的情况下,把 5 孔测力计改为仅有一个中孔的中孔测力计,但与测力计厂家协商沟通后认为,中孔测力计在结构受力上存在缺陷。经参建各方研究并通过厂家试验测试,最终采用 3 孔测力计,即在原 5 孔基础上,保留中孔,两侧各 2 孔合并为 1 孔,设计图与实物图如图 4 所示。



(a) 设计图



(b) 加工成品图

图 4 改进后的 3 孔测力计(单位:mm)

### 2.2 定位器

在工程槽或者环形试验台上进行预应力张拉时,预应力钢绞线、锚垫板、测力计、工作锚及千斤顶不容易对中,张拉施工时测力计存在偏压现象,导致测力计测值失真。为解决测力计与工作锚不同轴的问题,自行设计并定做定位器,该定位器可保证工作锚与测力计的对中误差不超过 2 mm,如图 5 所示。

### 2.3 锚垫板与中空垫板

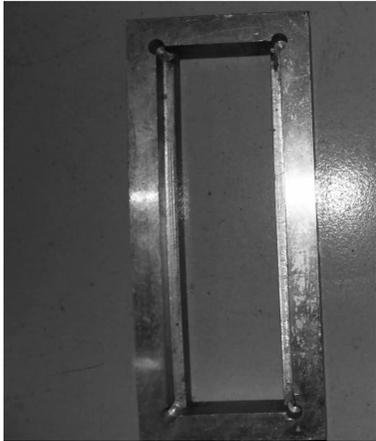
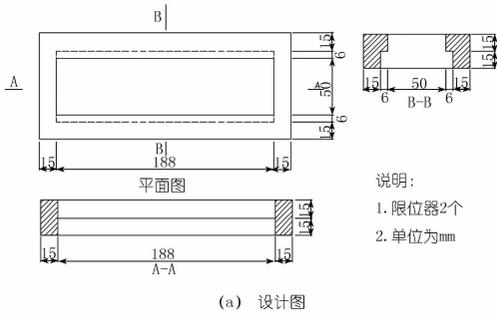
锚垫板凹槽表面未经处理,较粗糙,若测力计直接与锚垫板接触,势必影响测力计测量精度。因此,通过加大锚垫板尺寸(较测力计尺寸大 1~2 mm),并铣平垫板凹槽表面,改善测力计受力面;同时自行设计并加工中空加厚(35 mm)垫板(如图 6 所示),安装于锚垫板与测力计之间,改善受力条件。

### 2.4 其他措施

(1) 对测力计和油压千斤顶进行配套联合率定,减小两套系统间误差。

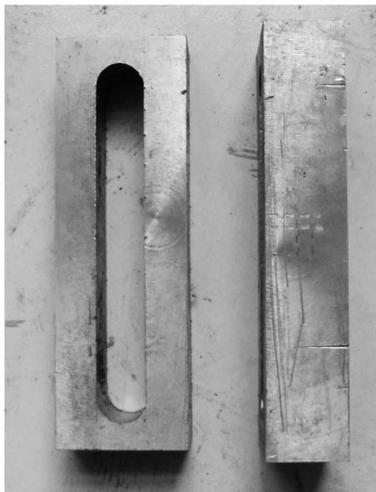
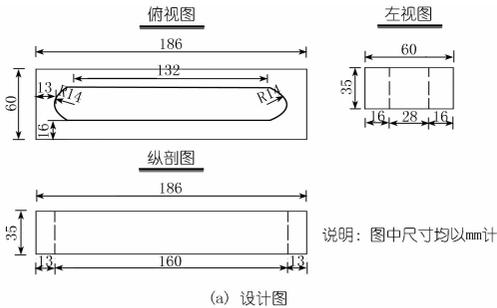
(2) 进行环形试验台试验时,利用水平尺逐步校核锚垫板、测力计、工具锚、限位板、垫块、过渡环及千

斤顶等设备的安装情况,保证其受力面水平,如图 7 所示。



(b) 加工成品图

图 5 定位器



(b) 加工成品图

图 6 中空加厚垫板

(3) 更换压力表,由 1.6 级不防震压力表更换为 0.4 级防震压力表。

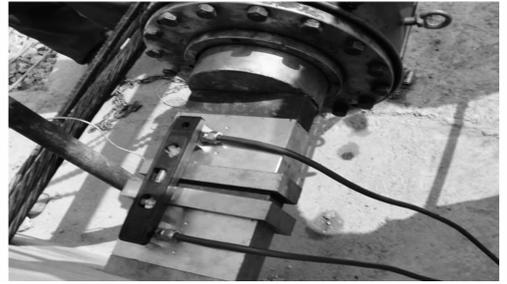


图 7 水平尺校平

### 2.5 测力计测试流程

建议改进后的工程槽及环形试验台测力计测试流程如图 8 所示,典型测力系统安装如图 9 所示。通过完善后的测力系统,由测力计反映的 U 形工程槽环向预应力损失由最大 48% 降到 20% 左右,真实反映了张拉后环向预应力受力状态。

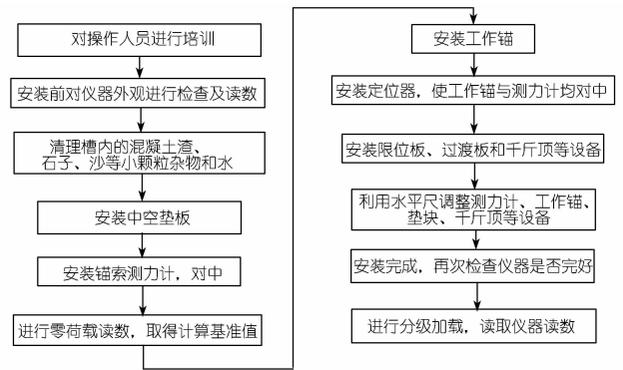


图 8 测试流程

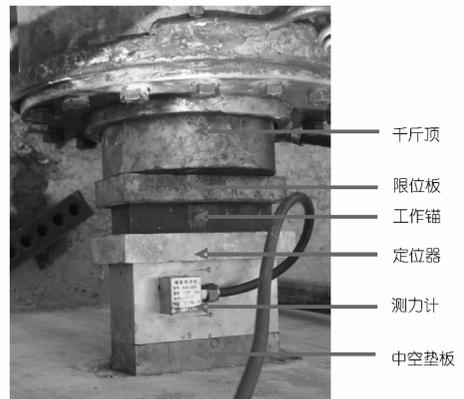


图 9 典型测力系统安装

### 3 结语

沙河渡槽工程槽和环形试验台环形预应力张拉试验表明,在环向测力系统及测试方法完善之前,测力计所测预应力值未反映其实际受力状态。通过改进测力计,自行研发定位器、中空垫板等测量装置,以及制定

可行的测试流程,完善了大型 U 形渡槽环向预应力筋测力系统,测试结果能够反映环向预应力筋真实受力状态,为工程设计和施工提供了经验。

#### 参考文献:

- [1] 程瓦,潘登宇.大型双向预应力混凝土 U 型薄壳渡槽设计[J].人民长江,2008,39(24):38-40.
- [2] 党海军,朱尔玉.35m 预应力混凝土箱梁锚垫板张拉破坏事故分析与处理[J].铁道建筑技术,2010,(4):59-61.

- [3] 李准华,刘钊.大跨度预应力混凝土梁桥预应力损失及敏感性分析[J].世界桥梁,2009,(1):36-39.
- [4] 吕志涛,孟少平.现代预应力设计[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [5] 李国平.预应力混凝土结构设计原理[M].北京:人民交通出版社,2000.

(编辑:郑毅)

## Dynamometer improvement for circular pre-stressed tendons of Shahe U-aqueduct in Middle Route Project of South-to-North Water Diversion

CHENG Dehu<sup>1</sup>, ZHAO Haitao<sup>2</sup>, FENG Guangwei<sup>3</sup>, LI Qiao<sup>1</sup>

(1. Management Bureau of Trunk Canal of Middle Route Project of South-to-North Water Diversion, Beijing 100038; 2. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 211169, China; 3. Henan Water & Power Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou 450016, China)

**Abstract:** A large amount of pre-stressed tendons are used in Shahe aqueduct, a U-aqueduct on trunk canal of Middle Route Project of South-to-North Water Diversion, especially, up to 71 circular pre-stressed tendons in a single aqueduct body. It is of great importance to precisely measure the pre-stress loss of the tendons after extension construction. The distortion causes of measured data by dynamometer in extension tests was analyzed firstly, and in the light of the distortion causes, the improvement measures were proposed as follow: improving the dynamometer, developing new measuring tools such as localizer and hollow cushion plate. The improved dynamometer can accurately measure the stress of pre-stressed tendons, providing guiding basis for tensioning construction.

**Key words:** U-aqueduct; circular pre-stress; dynamometer; Middle Project of South-to-North Water Diversion

(上接第 54 页)

## Energy dissipation test on spillway flood discharge of Baihutan Reservoir

LI Shengbing, DONG Zhenfeng, YAO Gaoling, WANG Changhai

(Henan Water & Power Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou 450016, China)

**Abstract:** The designed weir width of Baihutan Reservoir dam is 42m and does not match with downstream channel width of 30m. When flood is discharged under designed water level, the water drop can exceed 70m. By hydraulics model test, we studied and compared 5 flood energy dissipation schemes from aspects of distance between center of scouring pit and flip bucket, largest scouring depth. The adopted solution of stepped spillway with differential flip bucket can solve the downstream energy dissipation problem successfully.

**Key words:** ski-jump energy dissipation; stepped spillway; differential flip bucket; Baihutan Dam

· 简讯 ·

## 无人机监控技术首次引入长江河道采砂管理

2013年7月26日,长江委河道采砂管理局在长江武汉段开展了无人机采砂监控管理试验活动。上午9:45,一架标有“采砂管理监控”字样的EW-2S型无人机腾空而起,从白沙洲大桥穿越江面,飞往军山长江大桥。30分钟后,无人机平稳降落在起降点,顺利完成试飞任务。

在这次试验活动中,无人机上挂载的取证设备在地面站技术人员操作下,拍摄了大量高分辨率照片,清晰地呈现了江面上采运砂船只的情况。无人机监测系统包括飞行平台、控制系统、摄像系统和辅助系统等。这架无人机采用固定翼,载重

20 kg,满载续航1 h,在200~300 m高空飞行,速度为110 km/h,机舱内的相机每3s可拍摄一张地面照片,如果采用摄像机,可实时传输视频。

无人机具有目标小、隐蔽、易操作等特点,通过无人机技术可以实时掌握动态信息。在日常接到举报后,采砂管理人员可以实现远程取证,并掌握固定证据,确保在行动中信息准确,反应迅速,较大程度地节省人力物力。这次无人机的试飞成功将有助于长江河道采砂管理在监控技术上迈上新台阶。

(长江)