

文章编号:1001-4179(2013)16-0046-05

沙河 U 形渡槽预应力张拉试验研究

张玉明¹, 张明恩¹, 张高伟², 冯光伟¹, 马春安²

(1. 河南省水利勘测设计研究有限公司, 河南 郑州 450016; 2. 南水北调中线干线工程建设管理局 河南直管建管局, 河南 郑州 450046)

摘要:南水北调中线工程沙河渡槽为预应力渡槽。为了掌握预应力渡槽施加预应力后应力损失情况,于渡槽正式架设前,在施工现场建造了预应力锚索张拉试验台,对渡槽纵横向预应力锚固情况进行了测验与分析。介绍了张拉台的设计方案、测验过程及改进测试精度的措施。通过试验,获得了锚索孔道摩阻系数、锚固回缩损失、锚固口锚力损失等重要参数,为设计和施工提供了依据。

关键词:U形渡槽; 预应力锚固测试; 预应力损失计算; 沙河渡槽; 南水北调中线工程

中图分类号: TV672.3 **文献标志码:** A

1 工程概况

沙河 U 形渡槽为南水北调中线工程为数不多的预应力渡槽之一,是中线工程中最长的梁式渡槽,也是唯一采用预制吊装方式施工的渡槽。渡槽单跨 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,纵向共布置 27 孔直线型预应力钢绞线,槽身底部布置 21 孔 $8\Phi^{*}15.2$ 钢绞线,采用圆形锚具、圆形波纹管安装;槽身上部两侧共布置 6 孔 $5\Phi^{*}15.2$ 钢绞线,采用扁形锚具、扁形波纹管安装;槽身环向布置 71 孔 $5\Phi^{*}15.2$ 钢绞线,采用扁形锚具、扁形波纹管安装。纵、环向预应力筋均为双向张拉,槽身预应力筋布置见图 1。为监测预应力筋的有效应力,整个渡槽共设置 13 榀监测槽,每榀监测槽布置锚索测力计 18 台,其中纵向 10 台,环向 8 台。

每榀渡槽预应力筋 98 孔,整个渡槽预应力筋共 22 344 孔。对于如此众多的预应力筋,在大面积施工时,控制锚索张拉、保证施工质量尤为关键。为此,在

现场张拉试验台座及实际工程槽上开展了张拉试验。

2 环形试验台张拉试验

考虑到纵向直线筋线形简单,张拉时预应力筋与波纹管基本无摩擦,没有必要完全对工程槽进行张拉试验,纵向直线试验筋长度取 10 m。对比直线筋,环向筋由直线段+半圆弧段+直线段组成,线形复杂且张拉时半圆弧部分紧贴混凝土面,摩擦损失及回缩损失较大,张拉试验应完全按照实际工程槽进行。设计单位现场修建了张拉试验台座,详见图 2。台座内设环向锚索孔 2 孔,曲线半径 4.23 m;设直线锚索孔 2 孔,一孔为圆形,一孔为扁形。

2.1 孔道摩阻试验

孔道摩阻系数由两部分组成,偏摆系数 k 和摩擦系数 μ 。孔道摩阻系数是预应力筋回缩损失、摩擦损失及伸长量计算的重要参数,故首先进行孔道摩阻试验。试验时,分别对圆锚和扁锚直线筋进行张拉,预应力筋一端为主动张拉端,另一端为被动张拉端。根据张拉过程中的后三级主动端与被动端测力计读数得出

收稿日期:2013-06-22

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重大项目“南水北调工程若干关键技术研究与应用之大流量预应力渡槽设计和施工技术研究”(2006BAB04A05);南水北调中线干线工程科技项目“大型预应力 U 形预制槽 1:1 原型试验和预应力张拉试验研究”(ZXJ/KY/YYL-001)

作者简介:张玉明,男,工程师,硕士,主要从事南水北调中线工程大型渡槽设计工作。E-mail:8297543@qq.com

直线筋 k 值,再对扁锚曲线筋进行张拉,根据后三级荷载主动端与被动端测力计读数及已求得的直线筋 k 值,可求得曲线筋的 μ 值,摩擦阻试验简图见图 3。

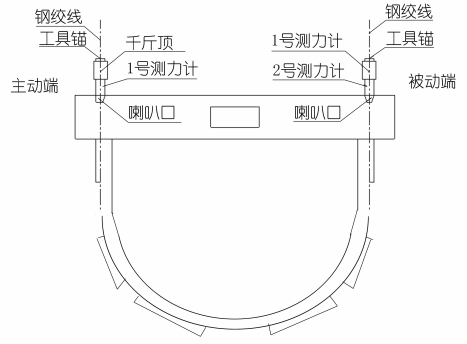


图 3 环形试验台摩擦阻试验示意

圆锚、扁锚的直线筋主动端、被动端张拉测试数据见表 1,2;扁锚环形筋主动端、被动端张拉测试数据见表 3~6。

表 1 圆锚直线筋摩擦阻张拉试验结果

次数	荷载级别/($\times 160t$)	主动端 P_k/t	被动端 P_x/t
1	0.75	117.09	114.26
	0.90	140.67	137.04
	1.03	161.13	156.88
2	0.75	116.68	113.72
	0.90	139.92	136.24
	1.03	160.20	156.03
3	0.75	115.01	112.29
	0.90	137.87	134.72
	1.03	156.62	153.18
4	0.75	114.69	113.73
	0.90	139.76	135.32
	1.03	155.14	153.91
5	0.75	114.02	113.19
	0.90	136.18	135.17
	1.03	155.66	154.51
6	0.75	114.40	113.53
	0.90	135.63	134.63
	1.03	154.48	153.34

表 2 扁锚直线筋摩擦阻张拉试验结果

次数	荷载级别($\times 160t$)	主动端 P_k/t	被动端 P_x/t
1	0.75	83.20	79.39
	1.03	105.41	100.31
2	0.75	81.08	78.11
	1.03	104.69	99.36

从表 1,2 可以看出,无论是圆锚,还是扁锚,由于孔道为直线,摩擦损失小,主、被动端张拉力相差不大,扁锚摩擦损失略大于圆锚。由张拉数据分析可得:圆形波纹管 $k = 0.00177$,扁形波纹管 $k = 0.00465$ 。

从表 3,4 可以看出,曲线段孔道长度较长,摩擦损失较大,主、被动端张拉力相差基本在 30 t 左右。分析

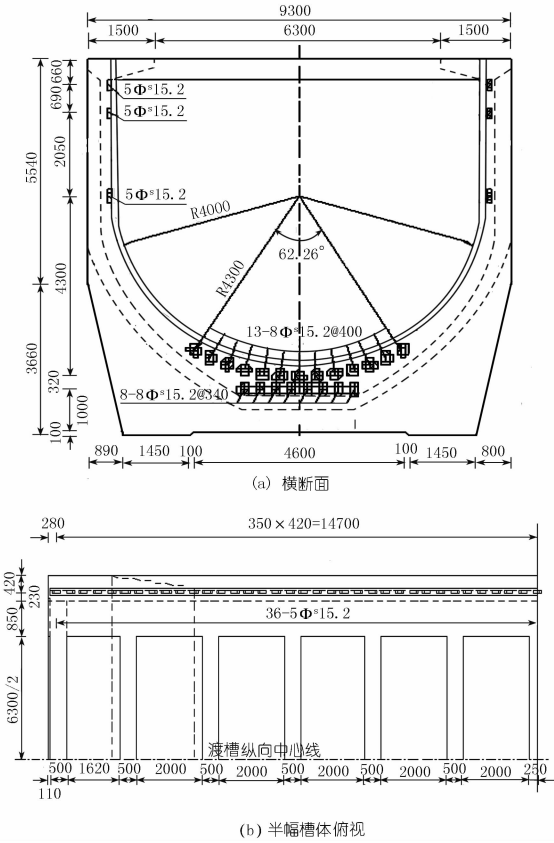


图 1 沙河梁式渡槽纵向、环向钢绞线布置(单位:mm)

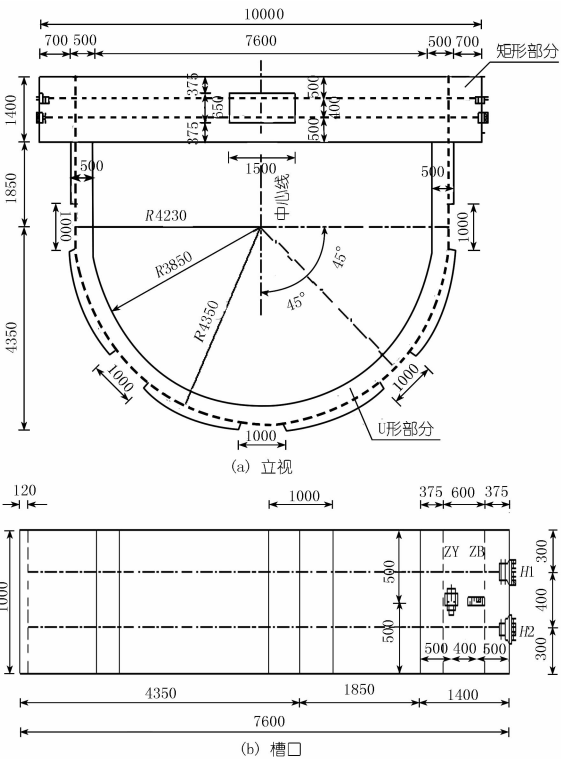


图 2 环形张拉试验台(单位:mm)

张拉数据及直线波纹管的 k 值可得,扁形波纹管摩擦系数 $\mu = 0.142$,处于《水工混凝土结构设计规范 SL191-2008》规定值 $0.14 \sim 0.17$ 之间。目前,市场上塑料波纹管产品鱼龙混杂,有些类似预应力工程使用的塑料波纹管 μ 值可达 0.2 左右,因此需进行现场测试。

表 3 上部扁锚曲线筋孔道摩阻张拉试验结果
(取直线圆形孔道 k 值)

次数	荷载级别/ 160t	主动端/ t	被动端/ t	圆弧主动 端 P_k/t	圆弧被动 端 P_x/t
1	0.75	72.22	44.33	71.09	45.04
	0.90	85.53	51.67	84.19	52.49
	1.03	97.94	60.22	96.40	61.18
2	0.75	71.88	45.10	70.75	45.82
	0.90	85.78	53.34	84.43	54.19
	1.03	98.91	61.71	97.36	62.69
3	0.75	72.54	45.14	71.40	45.86
	0.90	85.16	52.87	83.82	53.71
	1.03	97.62	59.89	96.09	60.85
4	0.75	74.13	43.86	72.97	44.56
	0.90	89.54	52.66	88.13	53.50
	1.03	100.05	58.73	98.48	59.67
5	0.75	73.97	44.76	72.81	45.47
	0.90	90.59	54.40	89.17	55.27
	1.03	100.77	60.43	99.19	61.39
6	0.75	72.79	44.2	71.65	44.90
	0.90	88.28	53.38	86.89	54.23
	1.03	99.83	60.05	98.26	61.01

表 4 下部扁锚曲线筋孔道摩阻张拉试验结果
(取直线圆形孔道 k 值)

次数	荷载级别/ 160t	主动端/ t	被动端/ t	圆弧主动 端 P_k/t	圆弧被动 端 P_x/t
1	0.75	72.22	44.33	71.79	44.60
	0.90	85.53	51.67	85.02	51.98
	1.03	97.94	60.22	97.35	60.58
2	0.75	71.88	45.10	71.45	45.37
	0.90	85.78	53.34	85.27	53.66
	1.03	98.91	61.71	98.32	62.08
3	0.75	72.54	45.14	72.10	45.41
	0.90	85.16	52.87	84.65	53.19
	1.03	97.62	59.89	97.03	60.25
4	0.75	74.13	43.86	73.69	44.12
	0.90	89.54	52.66	89.00	52.98
	1.03	100.05	58.73	99.45	59.08
5	0.75	73.97	44.76	73.53	45.03
	0.90	90.59	54.40	90.05	54.73
	1.03	100.77	60.43	100.17	60.79
6	0.75	72.79	44.2	72.35	44.47
	0.90	88.28	53.38	87.75	53.70
	1.03	99.83	60.05	99.23	60.41

2.2 锚固回缩试验

预应力筋张拉放张时,或多或少会产生一定的回缩量,从而导致预应力筋应力降低,称为预应力回缩损失。回缩损失测试布置与图 3 类似。

2.2.1 直线筋回缩损失

直线筋与曲线筋锚固回缩损失的具体测试结果见表 5,6。

表 5 直线扁锚回缩损失测试结果

次数	锚固前/t	锚固后/t	回缩损失/%
1	92.58	85.64	6.94
2	92.46	85.55	6.91
3	96.20	89.27	6.93
平均值	93.75	86.81	6.93

表 6 直线圆锚回缩损失测试结果

次数	锚固前/t	锚固后/t	回缩损失/%
1	153.62	139.39	9.26
2	156.66	142.06	9.32
3	157.91	143.11	9.37
平均值	156.26	141.52	9.32

从表 5,6 可以看出,直线扁锚筋回缩损失在 $7t$ 左右,直线圆锚筋回缩损失在 $14t$ 左右。这是由于预应力筋实际施工时不完全成直线,或多或少会偏离理论位置,而圆锚的 k 值与扁锚相比偏小,扁形孔道阻力大,故同样长度的直线筋圆锚回缩损失较扁锚小。

由于工程槽上沿直线筋每隔 $1m$ 设有辅助定位筋,以保证孔道基本为一条直线,故圆锚、扁锚直线筋回缩损失测试结果基本相当,为 6% 左右,与 5.6% 的设计值基本接近。

原设计纵向直线筋为两端张拉,同时放张,即两端均有回缩量。如果直线筋两端张拉,先锁定一端,再锁定另一端,则只有后放张的一端有回缩量,相当于一端张拉。在实际工程槽上,对上述两种张拉方式都进行了试验,结果表明,采用先锁定一端,另一端的预应力回缩损失为 3.5% ,基本与 2.8% 的理论分析值相当。在后期施工时,将纵向预应力筋放张方式调整为两端同时张拉,一端先放,另一端补张再放张。但采用这种放张方式的前提是要严格控制预应力筋线形,如果线形偏差较大,则单孔预应力筋各处应力不均匀,对结构受力不利。

2.2.2 曲线筋回缩损失

扁锚曲线筋具体张拉测试数据见表 7。由表 7 可见,扁锚曲线筋回缩损失均值为 14.53% ,理论值为

16.2%,两者基本相当。与直线筋不同,曲线筋圆弧段只在一定范围内回缩,其余部分预应力筋因摩阻力的作用,与混凝土不产生相对滑移。曲线筋回缩理论计算值与孔道摩擦系数、回缩量等有关。试验结果表明,前期摩阻试验测得的孔道摩阻与实际值相差不大。

表 7 曲线扁锚回缩损失

次数	锚固前/t	锚固后/t	回缩损失/%
1	98.75	83.84	15.10
2	98.76	84.04	14.90
3	92.36	80.59	12.74
4	100.00	88.38	11.62
5	100.84	84.17	16.53
6	103.60	86.86	16.16
7	100.80	84.62	16.05
8	97.26	83.73	13.91
9	94.64	80.73	14.70
10	101.22	85.71	15.32
平均值	98.82	84.27	14.53

2.3 锚圈口锚力损失

张拉施工时,绞线与锚板间摩擦产生的应力损失称为锚圈口锚力损失。因各个生产厂家的锚板规格不同,现行规范中并没有锚圈口受力损失计算公式,只能通过张拉试验确定。试验时,在锚板两侧各安置 1 个测力器,张拉时在各级荷载下通过两侧测力计读数测定锚圈口受力损失(见图 4)。

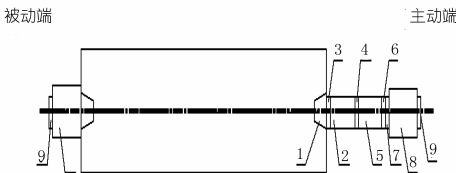


图 4 锚圈口损失试验示意

注:1.喇叭口;2.1号测力计;2.中空垫板;4.试验用工作锚(装夹片)+限位板;5.2号测力计;6.工作锚(不装夹片);7.限位板;8.千斤顶;9.工作箱

对圆锚与扁锚锚筋各进行了 3 次张拉测试,取后 3 级荷载、各 9 个样本数据进行锚力损失分析。结果见表 8,9。从表中可以看出,圆锚锚圈口锚力损失为 3.43%,扁锚锚圈口锚力损失为 4.48%。由于穿过扁形锚具的 5 根绞线平行,其扩散角较圆形锚具大,故扁锚锚圈口损失比圆锚略大。具体张拉时,可根据锚力损失情况相应提高张拉控制力,以保证锚下张拉力满足设计值。

3 测力系统研究

现场工程槽张拉施工预应力筋放张时,部分测力

计数值较设计值偏差较大,最大时可达 30 t,改善测力计与锚垫板接触面后,测力计读数又能达到 78 t。此外,在环形试验台张拉试验中,有时会出现测力计读数较设计值大 12~18 t 的情况。这种情况几乎均出现在环向扁锚中,纵向圆锚张拉施工时,测力计读数基本与设计值相符。后期施工时,进行了大量扁锚张拉试验分析,得出影响扁锚测力计读数的主要原因如下。

表 8 圆锚锚圈口锚力损失测试结果

次数	荷载等级	锚具外测力计/t	锚具内测力计/t	损失/%
1	0.75	117.73	113.20	3.85
	0.80	140.5	136.19	3.07
	1.03	161.81	156.11	3.52
2	0.75	117.81	113.63	3.55
	0.80	140.54	136.32	3.00
	1.03	160.73	154.35	3.97
3	0.75	116.06	112.18	3.34
	0.80	138.52	133.70	3.48
	1.03	158.60	153.72	3.08

表 9 扁锚锚圈口锚力损失测试结果

次数	荷载等级	锚具外测力计/t	锚具内测力计/t	损失/%
1	0.75	76.49	72.73	4.92
	0.80	90.62	85.54	5.61
	1.03	102.9	98.02	4.74
2	0.75	77.06	72.67	5.70
	0.80	90.54	85.36	5.72
	1.03	102.68	98.13	4.43
3	0.75	75.13	72.65	3.30
	0.80	88.57	85.42	3.56
	1.03	100.92	98.52	2.38

(1) 测力计本身属精密仪器,对受力环境尤其是受压面平整度要求较高。受压面平整度是影响测力计精度的重要因素。施工中采用的扁锚锚垫板与测力计接触面未经过处理,较粗糙,个别锚垫板顶部凹凸不平;而圆锚锚垫板出厂前顶面经过重新处理,较为平整。因此,测力计测量值较设计值相差过大的情况均为扁锚。

(2) 预应力筋、锚垫板、测力计及千斤顶不同轴,导致张拉施工时测力计存在偏压现象,现场张拉施工时发现测力计 4 根振弦读数较设计值相差过大。

(3) 测力计出厂前进行了单独率定,千斤顶与油表进行了联合率定;两套测力系统间需进行联合率定来消除系统间的误差。

(4) 单孔环向扁锚锚索为 5 根,各自单独穿过测力计,张拉或放张时绞线与测力计间会产生摩擦,从而会影响测力计读数。

通过以上原因分析,现场采取了一系列措施来提

高测力计测量精度,具体措施如下:

- (1) 联合率定测力计和油压千斤顶,减小两套系统间误差;
- (2) 改进方形测力计,将原来 5 个孔中间的 3 个合并为 1 个孔,减小绞线与测力计间摩擦;
- (3) 专门设计并定做定位器,保证工作锚与测力计的对中误差不超过 2 mm;
- (4) 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;
- (5) 加大扁锚锚垫板尺寸(较测力计尺寸大 1~2 mm),并铣平垫板凹槽,改善测力计受力面;

(6) 设计并加工中空加厚(35 mm)垫板,安装于测力计上下面,改善受力条件;

(7) 更换压力表,将 1.6 级不防震压力表更换为 1.6 级防震压力表,后又更换为 0.4 级防震压力表。

4 结 语

本次沙河 U 形预应力渡槽的现场预应力张拉试验测得了锚孔塑料波纹管孔道摩阻系数、锚固回缩损失及锚具锚圈口损失等数据,为设计及施工提供了重要参数。同时,试验过程中,针对测量试验中的技术细节作了改进,为今后类似工程试验积累了宝贵经验。

(编辑:常汉生)

Prestress tension test and research of Shahe U - shape pre - stressed aqueduct

ZHANG Yuming¹, ZHANG Ming'en¹, ZHANG Gaowei², FENG Guangwei¹, MA Chun'an²

(1. Henan Water & Power Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou 450016, China; 2. Henan Branch, Engineering Management Bureau of Middle Route Project of South - to - North Water Diversion, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: In order to master the prestress loss condition of Shahe aqueduct of Middle Route Project of South - to - North Water Diversion, before formal erection of the aqueduct, an anchor cable tension platform was built in site, and prestressed anchorage condition of the aqueduct in longitudinal and transversal directions was measured and analyzed. This paper introduces the design scheme of the tension platform, measurement process and improvement measures of measurement accuracy. Through measurement, the important parameters of the anchor - cable hole friction, anchoring shrinkage stress loss, anchor ring stress loss are obtained, which provided a basis for design and construction.

Key words: U - shape aqueduct; pre - stressed anchorage test; pre - stress loss calculation; Shahe aqueduct; Middle Route Project of South - to - North Water Diversion

(上接第 42 页)

Test and design optimization for water - seal member of large precast U - type pre - stressed aqueduct

FENG Guangwei¹, CHENG Dehu², LI Mingxin³, MA Chunan³, ZHANG Yuming¹

(1. Henan Water & Power Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou 450016, China; 2. Management Bureau of Trunk Canal of Middle Route Project of South - to - North Water Diversion, Beijing 100038; 3. Henan Branch, Engineering Management Bureau of Middle Route Project of South - to - North Water Diversion, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: Water diversion safety of precast aqueduct is significantly dependent on water - seal members, and an in - situ test for water - seal was carried out aiming at Shahe aqueduct, a precast pre - stressed aqueduct in Middle Route Project of South - to - North Water Diversion. Two kinds of water - seal members, pressure plate and bonded pressure plate, and corresponding construction techniques were studied and compared. Through test, the latter is found to be more suitable for large U - aqueduct construction with convenience construction in large - scale and quality control. It is demonstrated that high - standard and fine construction technique is also a keystone for success of water sealing besides structure design.

Key words: U - type precast aqueduct; water - seal; pressure plate type; bonded pressure plate; large aqueduct