

文章编号:1001-4179(2013)16-0036-03

大型薄壁预应力U形槽原型充水试验分析

冯光伟, 贾少燕, 赵廷华, 水淼, 张玉明

(河南省水利勘测设计研究有限公司, 河南 郑州 450016)

摘要:为了解大型预应力U形渡槽空间应力的分布状态与规律,对在建的南水北调中线沙河渡槽开展了原型结构充水试验研究。通过试验,监测各充水水位下槽体应力应变及结构变形,并与数模计算成果进行对比。分析表明,排除温度、混凝土徐变等非荷载因素影响后,各项目实测值与数模计算值吻合较好,表现出一致的规律性。同时,通过槽体充水试验,渡槽安全性得到验证,到达了设计预期的承载能力和抗裂能力。

关键词:原型试验; 充水试验; 渡槽; 南水北调中线工程

中图法分类号: TV67 文献标志码: A

1 工程概况

在建的南水北调中线沙河渡槽,设计流量 320 m³/s,加大流量 380 m³/s,梁式U形渡槽槽身为双线4槽预应力简支结构,每跨30m。槽身结构为后张双向C50预应力混凝土结构(图1)。

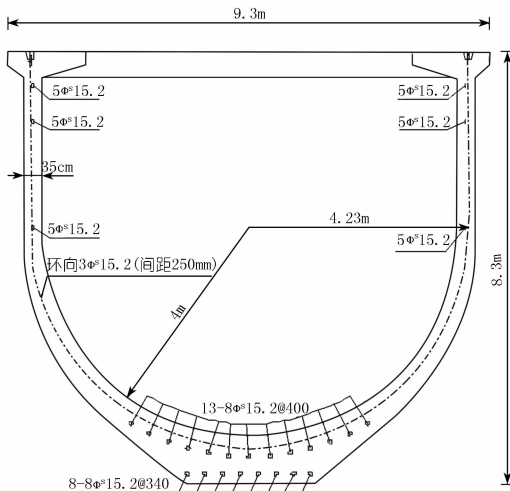


图1 试验槽结构槽断面

渡槽单槽净宽8m,净高7.4~7.8m,槽体壁厚0.35m,槽顶设拉杆,施工采用地面预制、架槽机施工^[1]。

2 原型试验及监测成果

原型试验结构为一跨实体工程槽,两端设挡水堵头。槽体内主要受力部位埋设有应力、应变监测仪器,挠度与槽身侧向变形采用百分表量测。槽内半槽水深3.7m、设计水深6.05m、加大水深6.797m、满槽水深7.4m。试验槽于2010年1月完成预应力终张拉,充水试验2011年8月底开始,各级特征水位静停1~2d。充水过程中以及放空后经全面检查,结构、支座未见任何异常,槽体无任何裂缝。

2.1 试验槽混凝土应力应变监测成果

2.1.1 混凝土实测应变

充水前与充水后应变均为压状态,压应变范围为60~300 με左右。典型断面实测应变成果见表1。表中“-”表示压应变。槽体圆弧段0°、180°指圆心水平方向,90°指圆心处竖向,依次类推。

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型预制槽1:1原型试验和预应力张拉试验研究”(ZXJ/KY/YYL-001)

作者简介:冯光伟,男,技术副总监,教授级高级工程师,主要从事水工结构设计、科研工作。E-mail:hpdwfgw@hnsi.gov.cn

表 1 典型断面混凝土实测应变

με

工况	环向内壁跨中			环向外壁跨中			环向内壁端部			纵向内壁跨中			纵向外壁跨中			纵向内壁端部			
	直墙上端	30°	65°	90°	0°	45°	90°	0°	55°	90°	0°	30°	90°	0°	45°	90°	0°	20°	90°
空槽	-228.7	-200.0	-126.0	-175.2	-340.6	-215.4	-215.4	-249.6	-204.9	-97.0	-107.9	-211.2	-284.4	-153.9	-212.3	-191.4	-49.3	-154.5	-71.0
半槽水	-211.3	-201.5	-120.6	-165.4	-361.1	-225.5	-225.5	-288.7	-199.2	-101.5	-156.6	-197.3	-264.6	-185.1	-213.3	-214.5	-147.7	-120.8	-64.0
设计水深	-200.5	-197.7	-106.8	-154.9	-324.4	-214.1	-214.1	-268.5	-224.2	-113.1	-165.9	-202.8	-266.1	-179.3	-208.9	-198.1	-149.0	-141.4	-62.4
加大水深	-193.1	-198.5	-100.5	-149.9	-309.4	-209.9	-209.9	-260.8	-232.5	-120.4	-175.3	-204.4	-265.6	-182.0	-204.9	-201.7	-155.3	-153.8	-61.5
满槽水	-187.5	-192.9	-92.4	-144.5	-307.7	-213.7	-213.7	-258.9	-237.8	-124.4	-174.3	-201.1	-259.6	-183.9	-206.1	-177.1	-151.8	-148.3	-56.5

2.1.2 钢筋计实测应力

槽体钢筋计监测成果表明,空槽及充水条件下各部位均处于受压状态,钢筋压应力 17 ~ 99 MPa 左右,均处于弹性受压状态。钢筋应力分布规律与混凝土应变监测结果规律基本一致。典型跨中断面成果见表 2。

表 2 跨中典型断面钢筋实测应力 MPa

工况	环向内壁			纵向	
	65°	90°	115°	90°内侧	90°外侧
空槽	-42.24	-64.04	-36.15	-64.04	-66.11
半槽水	-40.28	-58.72	-35.43	-58.72	-60.20
设计水深	-36.66	-59.18	-32.36	-59.18	-31.72
加大水深	-34.98	-59.18	-31.19	-59.18	-52.11
满槽水	-33.09	-57.90	-29.26	-57.90	-52.13

2.2 槽体变形监测成果

跨中断面变形最大,挠度与侧向变形主要监测结果见表 3。

表 3 跨中变形监测结果(相对于空槽) mm

工况	跨中底部挠度		跨中顶部侧向变形	
	实测	数模	实测	数模
水深 6.05m	0.85	1.10	0.1	0.08
水深 7.4m	1.10	1.84	0.4	0.18

挠度与变形值本身就 1 mm 左右,分析时要考虑支墩沉降、支座压缩,另外测量条件、系统误差、仪器本身误差对结果都会有一定影响,但总体上测量结果基本符合实际受力情况,间接说明槽体刚度、钢绞线施加、槽体混凝土质量没有大问题。

3 槽体结构数模分析

针对各充水工况与试验条件对槽体进行数值模拟。槽体为空间壳体预应力抗裂结构,采用三维实体线性单元模拟,混凝土采用块体单元模拟,预应力钢筋用杆单元模拟。

槽体荷载有结构自重、预应力、水荷载。根据试验槽充水期间记录,试验期间槽内外温差对结构内力影响有限,因此,在数模分析中不计温差作用。主要部位混凝土应力见表 4 和表 5。

表 4 数值模拟槽体混凝土环向应力 MPa

工况	跨中						端部(内壁)					
	内壁直	内壁	内壁	外壁	外壁	外壁	直端	0°	20°	55°	90°	
空槽	-2.35	-4.49	-4.03	-3.64	-6.98	-2.55	0.03	-2.87	-1.53	-2.22	-2.40	-2.88
半槽水	-2.36	-4.36	-4.07	-3.63	-7.15	-2.15	0.29	-2.88	-1.80	-2.45	-2.23	-3.27
设计水深	-2.35	-4.11	-3.16	-2.80	-6.01	-2.52	-0.21	-3.02	-2.75	-2.77	-1.73	-2.93
加大水深	-2.39	-3.96	-2.77	-2.46	-5.45	-2.73	-0.43	-3.11	-3.13	-2.84	-1.52	-2.75
满槽水	-2.29	-3.85	-2.52	-2.23	-5.07	-2.84	-0.57	-3.09	-3.36	-2.88	-1.40	-2.64

表 5 数值模拟槽体混凝土内壁纵向应力 MPa

工况	端部	1/8 断面	1/4 断面	跨中
空槽	-6.14	-3.79	-4.07	-3.65
半槽水	-5.96	-3.66	-3.74	-3.15
设计水深	-5.89	-3.40	-3.35	-2.62
加大水深	-5.88	-3.30	-3.21	-2.44
满槽水	-5.87	-3.24	-3.14	-2.34

4 试验成果与数模结果对比分析

4.1 应力分布规律

(1) 纵向应力。槽体试验结果与数模计算的纵向应力分布规律是一致的。纵向应力分布近似表现为简支梁受弯规律:跨中弯矩最大,跨中底部压应力最小,顶部压应力最大;同一级水深下从跨中至端部,梁底压应力逐渐增大,梁顶压应力逐渐减小;同一断面部位,水深加大时,底部压应力逐渐减小,顶部压应力增大。

(2) 环向内壁应力分布规律。环向槽壁直段应力均变化不大;弧段上同一个部位在水荷载作用时,因水荷载产生拉的作用,随着水深增加,压应力都逐渐减小;在同级荷载下,弧段从上到下总的趋势为压应力由大变小。

(3) 环向外壁应力分布规律。同一级水深下环向外壁圆弧段从上到下压应力逐渐减小,梁底部位最小;同一个部位,在 3.7 m 深水荷载作用下,直段底部 0° 和 180° 位置产生压的作用,水深 6.05, 6.797, 7.4 m 时,该处产生拉的作用;在 45° ~ 135° 部位,水深 3.7 m 时产生拉的作用,水深 6.05, 6.797, 7.4 m 时,该处产生压的作用。

主要断面应力分布对比表明,监测结果与数模计算的应力分布规律基本一致。

4.2 数模与实测差异原因分析

槽体在各级荷载下均处于弹性状态,结构应力采用实测混凝土应变进行换算。换算后,充水前空槽状态槽体压应力 $-2 \sim -14$ MPa 左右。数模计算的空槽应力数值较试验监测的应力要小得多,压应力 0.29 (外壁拉) ~ -7 MPa。

差别的原因主要是实测应变包含了槽身混凝土温湿度变化、自身化学变形和混凝土徐变影响,而这部分应变随混凝土龄期、气温变化而变化。沙河试验槽冬季 1 月份预应力终张拉后至充水前,在外荷载不变情况下,混凝土应变一直处于不断变化之中,温度升高压应变增大,试验槽充水在 8 月底高温时段进行,有相当一部分应变为非荷载引起的压应变,这是试验结果较数模大的主要原因。但由于结构为薄壁结构,无法安装无应力计,加之缺乏槽体混凝土徐变资料,混凝土应变实测结果难以直接剔除这些影响^[2]。

4.3 充水中实测与数模结果应力增量对比

为在对比时消除混凝土非荷载因素的影响,将监测成果与数模成果在水荷载作用下的应力分别减去各自充水前空槽状态下槽体应力,以应力增量进行对比。

4.3.1 纵向应力增量对比

以纵向底部、顶部的应力增量为例,对比分析如下:① 水荷载作用下,纵向应力监测数据增量与数模应力增量规律一致,水荷载越大,梁弯曲越大,梁底压应力减少越大,梁顶压应力增幅越大。② 水荷载作用下,纵向应力监测数据增量与数模应力增量接近,个别差别大的点约有 0.5 MPa 左右。

4.3.2 环向应力增量对比

选典型部位环向跨中、 $1/4$ 断面、 $1/8$ 断面分别进行应力增量对比,对比分析如下:

水荷载作用下,环向应力监测数据增量与数模应力增量规律总体上基本一致,半槽水对圆弧段内壁产

生压的作用,对外壁弧顶产生压、对弧下部产生拉的作用;设计水深 \sim 满槽水在圆弧段内壁产生拉的作用,弧底拉的作用最大,对弧段外壁产生压的作用,因此总体上随着水深加大,环向内壁压应力呈减小趋势,外壁压应力呈增加趋势。个别点应力增量的适度差别不影响成果规律和一致性。

水荷载作用下,环向应力监测数据增量与数模应力增量非常比较接近,个别点在 0.5 MPa 左右。

5 结语

(1) 通过对槽体原型试验应力应变监测成果的分析,并与槽体三维有限元数模计算对比,表明结构应力分布规律是合理的,能够反映大型薄壁 U 形槽实际受力状态。

(2) 经试验槽混凝土实测应变换算得到的应力较数模计算值偏大,主要是由于实测应变未扣除温度、徐变等因素引起的非荷载变形。在分析对比时,采用应力增量进行分析是合适的,消除了荷载以外因素的影响。水荷载作用下,槽体监测成果与数模应力增量分布规律基本一致、数值比较接近,说明理论计算与实体结构应力的一致性。

(3) 根据试验成果分析,槽体安全性得到验证,能够达到设计预期的承载能力与抗裂能力,同时也验证了设计的可靠性、合理性。

(4) 沙河渡槽有 13 个槽体为永久监测跨,下一步将对施工期和运行期结构应力应变进行定期监测,跟踪其变化情况。

参考文献:

- [1] 冯光伟,左丽,王彩玲,等.南水北调沙河梁式渡槽结构选型与跨度分析研究[J].南水北调与水利科技,2010,(4):27-30.
- [2] 张利,王玉华,王彩玲,等.大流量薄壁渡槽槽身张拉工艺仿真研究[J].南水北调与水利科技,2011,(4):13-16.

(编辑:郑毅)

Prototype water – filling test for large – scaled pre – stressed U – aqueduct

FENG Guangwei, JIA Shaoyan, ZHAO Tinghua, SHUI Miao, ZHANG Yuming

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

Abstract: For mastering the stress distribution laws of large – scaled U – type pre – stressed aqueduct, prototype water – filling test was carried out for Shahe aqueduct of Middle Route Project of South – to – North Water Diversion. By the test, the stress and strain of the aqueduct under different water levels were monitored and compared with results of numerical simulation. After eliminating influences factors of temperature and creep, the measured data was well accordance with the numerical results and showed the same regularity. The test also verified that the aqueduct safety can be guaranteed with expected bearing capacity and crack – resistance.

Key words: prototype test; water – filling test; aqueduct; Middle Route Project of South – to – North Water Diversion