

DOI:10. 3969/j. issn. 1674 - 1951. 2019. 12. 011

Q460C 内加强月牙肋钢岔管模型试验与分析

Test and analysis of Q460C crescent-rib reinforced
steel bifurcated pipe model

朱晨¹,刘凤维²,张文科³
ZHU Chen¹,LIU Fengwei²,ZHANG Wenke³

(1. 华电郑州机械设计研究院有限公司,郑州 450046; 2. 中国水利水电第十四工程局有限公司,昆明 650000;3. 华能澜沧江水电股份有限公司,昆明 650012)
(1. Huadian Zhengzhou Mechanical Design Institute Company Limited,Zhengzhou 450046,China;
2. Sinohydro Bureau 14 Corporation Limited,Kunming 650000, China;3. Huaneng
Lancang River Hydropower Corporation Limited,Kunming 650012,China)

摘 要:为掌握 Q460C 内加强月牙肋钢岔管的结构特性,验证设计的合理性和工艺的可行性,对某水电站钢岔管进行模型试验。在钢岔管模型爆破试验过程中,对钢岔管模型的应力、位移、变形进行监测,获得了结构的强度极限,掌握了钢岔管模型的安全储备情况。试验结果显示,应力、位移、变形数据与水压等级成良好的线性关系,表明试验压力下模型岔管处于弹性变形状态,测试系统的非线性误差得到了较好的控制。爆破试验获得模型岔管的爆破压力为 18.6 MPa,安全系数为 3.0,满足标准要求。

关键词:水电站;内加强月牙肋钢岔管;模型岔管;爆破试验;强度极限

中图分类号:TV 34 **文献标志码:**A **文章编号:**1674 - 1951 (2019) 12 - 0054 - 04

Abstract:In order to grasp the structural characteristics of Q460C crescent-rib reinforced steel bifurcated pipe, verify the rationality of the design and the feasibility of the process, a model test was made on the steel bifurcated pipe of a hydropower station. During the blasting test, the stress, displacement and deformation of the steel bifurcated pipe model were monitored, and the ultimate strength of its structure was obtained, and the safety reserve of the steel pipe model was achieved. The test results showed that the stress, displacement, deformation data had a good linear relationship with the water pressure level, which indicates that the steel bifurcated pipe model was in elastic deformation under the test pressure. The nonlinear error of the test system was well controlled. The burst pressure of the steel bifurcated pipe obtained from blasting test was 18.6 MPa, and the safety factor was 3.0, which met the standard requirements.

Keywords:hydropower station; crescent-rib reinforced steel bifurcated pipe;bifurcated pipe model;blasting test; ultimate strength

0 引言

目前,国内水电站压力钢管用钢主要采用 3 个强度级别的钢,即 500 MPa 级、600 MPa 级和 800 MPa 级,强度(屈服强度和抗拉强度)是压力钢管用钢的主要质量特征^[1],良好的延伸率是水电工程用高强钢非常关键的技术指标^[2-3]。Q460C 钢材是低合金结构钢,其抗拉强度接近 600 MPa 高强钢,具有优越的力学性能和焊接性能,焊接时无需预热,对于野外

以及洞内作业的水利水电工程具有重大意义。模型试验是工程中验证产品新材料选材、设计、制作等质量的重要手段,原型岔管一般通过水压试验进行质量验收,模型岔管一般通过爆破试验验证质量^[4]。在国产高强钢的推广应用过程中,进行过 600 MPa 级、800 MPa 级和 1 000 MPa 级岔管的模型试验,但 Q460C 钢材岔管的模型试验尚未开展过。本文以某水电站钢岔管设计为基础,进行 Q460C 钢岔管模型试验。试验过程中,对钢岔管模型的应力、位移、变形进行监测,验证设计的合理性和工艺的可行性。通过对钢岔管模型进行爆破试验,获得结构的强度极限,掌握钢岔管模型的安全储备情况。试验数据和成果可为水利水电工程结构用钢范围的拓展提供

有利支撑。

1 模型岔管参数

模型岔管材质为 Q460C 钢,为对称 Y 形内加强月牙肋钢管,分岔角为 75° ,主管直径为 1 588.0 mm,支管直径为 1 124.0 mm,最大公切球直径为 1 922.8 mm;岔管管壳厚 24 mm,肋板厚 48 mm,肋宽比为 0.35;设计压力为 6.24 MPa,试验压力为 7.80 MPa,是设计压力的 1.25 倍。模型岔管结构如图 1 所示。

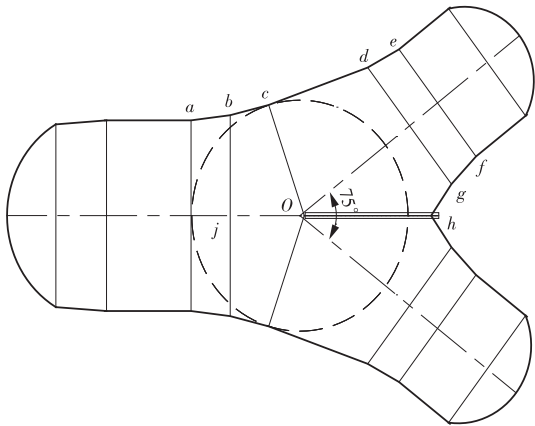


图 1 模型岔管结构
Fig.1 Bifurcated pipe model structure

2 测试系统

此次应力测试采用应变电测法,应变计选择 BE120-4AA(11)型单向电阻应变计、BE120-4BB 型双向电阻应变计和 BE120-2CA 型三向电阻应变计^[5]。应变仪采用 DH3816N 型静态应变测量分析系统,量程为 $\pm 30\,000\,\mu\varepsilon$,精度不大于测量值的 $0.5\% \pm 3\,\mu\varepsilon$,零点漂移 $< 3\,\mu\varepsilon/4\,\text{h}$,采样频率为 2 Hz。位移测试采用 5G103 型直线位移传感器和 DH3819 型无线信号采集系统。变形测试时采用 5 000 mL 量杯进行注水量的测量。

3 测点布置

考虑内加强月牙肋岔管的受力特征,岔管应力测试的重点部位为钝角区、肋旁管壳区和月牙肋板处,管壳测点在内、外壁对应布置,以考察薄膜应力和局部弯曲应力^[6]。在应力变化平缓的部位测点布置相对较少,应力变化梯度较大的部位测点布置相对较多^[7]。此次岔管水压试验共布置 82 个测点,岔管内、外部对称各布置 41 个测点:月牙肋板布置 7 个单向应变计;腰线($a-e$)布置 9 个双向应变计;腰线($f-h$)布置 3 个双向应变计;肋旁管壳($h-o$)布置 5 个双向应变计;主岔环焊缝($b-j$)

布置 4 个三向应变花;主岔环焊缝($c-o$)布置 6 个三向应变花;支岔环焊缝($d-g$)布置 7 个三向应变片。位移传感器布置于岔管外侧,分别位于主管的腰部及月牙肋的顶部、底部和腰部^[8]。

4 测试过程

水压试验时,岔管进水口及出水口均与闷头对接,形成密闭容器。整个岔管水平卧放于 3 个鞍形支架上,岔管底部离地 300 mm。鞍形支架用聚四氟乙烯板垫在钢板平台上,以保证水压试验时岔管能自由位移^[9],岔管水压试验状态及现场布置如图 2 所示。仪器调试完毕,进入测试状态,按照水压试验压力循环要求进行各压力等级的加压,具体压力等级如图 3 所示。水压试验结束后,进行爆破试验,持续向模型岔管注水加压,直至发生破裂为止。



图 2 模型岔管试验状态
Fig.2 Bifurcated pipe model test status

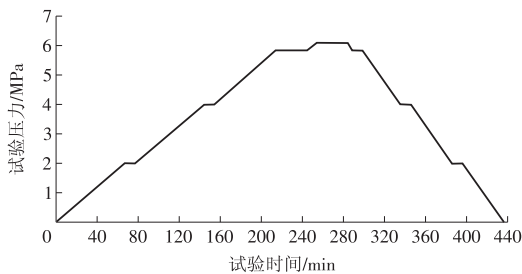


图 3 水压试验压力循环
Fig.3 Hydraulic pressure test pressure cycle

5 测试结果

水压试验压力达 7.80 MPa 时,应力测试数据中,岔管腰线($a-e, f-h$)最大应力为 482.01 MPa,月牙肋板($g-o$)最大应力为 257.09 MPa,主岔管壳($c-o$)最大应力为 390.71 MPa,主岔管壳($b-j$)最大应力为 376.85 MPa,支岔管壳($d-g$)最大应力为 364.22 MPa,肋旁管壳($h-o$)最大应力为 603.86 MPa。部分应力控制点数据见表 1。水压试验压力达 7.80 MPa 时,位移测试数据中, a

表 1 应力控制点数据

Tab.1 Stress control point data

MPa

测点	应力	试验压力/MPa								
		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	6.24	7.00	7.80
a 点内壁	σ_x	16.75	36.42	57.88	76.14	95.88	114.66	118.84	132.06	147.58
	σ_y	35.69	77.72	123.78	163.35	205.81	246.62	256.53	287.91	324.40
a 点外壁	σ_x	9.39	21.60	35.60	46.31	56.83	69.32	72.47	82.46	94.04
	σ_y	28.05	62.44	100.87	132.58	165.59	199.66	207.86	233.81	263.89
b 点内壁	σ_x	10.88	24.29	39.48	52.52	67.33	81.68	84.79	94.66	105.64
	σ_y	31.52	69.72	112.67	150.20	191.30	231.08	240.30	269.49	303.66
b 点外壁	σ_x	15.53	34.37	55.08	71.49	87.99	106.21	110.55	124.32	141.06
	σ_y	36.55	79.96	127.38	166.41	206.62	247.36	256.54	285.62	319.39
h 点内壁	σ_x	-0.34	-0.71	-1.56	-1.67	0.86	3.29	3.28	3.26	4.71
	σ_y	24.15	52.54	82.14	108.20	137.55	165.67	172.79	195.32	223.36
h 点外壁	σ_x	15.37	35.29	59.00	78.52	98.71	120.30	125.96	143.88	165.89
	σ_y	28.05	62.24	100.58	132.17	164.86	198.37	206.68	232.99	264.59

注: σ_x 为轴向应力, σ_y 为周向应力。

点位移量为 -6.219 mm, b 点位移量为 -5.642 mm, c 点位移量为 -3.977 mm, h 点位移量为 -1.895 mm, 月牙肋顶部位移量为 3.114 mm, 月牙肋底部位移量为 4.386 mm(正值表示岔管压缩,负值表示岔管膨胀)。模型岔管体积变形的注水量与压力数据见表 2,当试验压力达 18.60 MPa 时,在主管的右侧部位迅速开裂,模型岔管爆破。

表 2 注水量与试验压力数据

Tab.2 Water injection volume and test pressure data

试验压力/ MPa	累计注水 量/mL	试验压力/ MPa	累计注水 量/mL
0	0	10	86 000
1	10 000	11	95 000
2	18 000	12	105 400
3	26 000	13	115 900
4	34 000	14	134 400
5	42 500	15	162 400
6	50 950	16	218 400
7	58 950	17	306 400
8	67 750	18	447 100
9	77 750		

6 测试结果分析

(1)应力测试数据表明,设计压力等级(6.24 MPa)下模型岔管各测点的应力值均低于材料的标准屈服值下限(440.0 MPa),模型岔管各测点处于弹性变形状态^[10]。

(2)模型岔管主管管径大于支管管径,其应力总体高于支管部分。模型岔管主管各管节的主要应

力区位于钝角区腰线 a, b, c 点,这些点的应力显著高于管壳腰线上其他控制点。

(3) 试验过程中,钝角区腰线 a, b 点和月牙肋旁管壳腰线 h 点应力值相对较大,需重点关注。对应力控制点 a, b, h 数据进行线性分析,各测点线性拟合结果良好,具体拟合结果如图 4 — 6 所示。

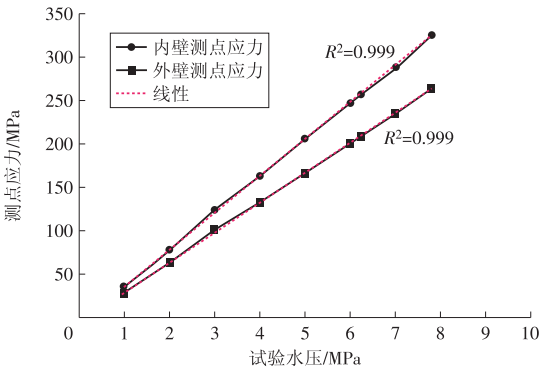


图 4 a 点周向应力

Fig.4 Circumferential stress on point a

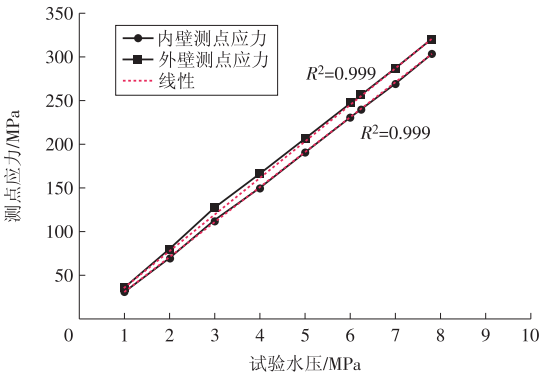


图 5 b 点周向应力

Fig.5 Circumferential stress on point b

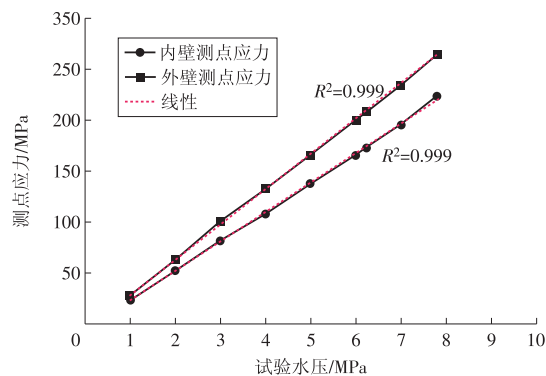


图 6 h 点周向应力

Fig. 6 Circumferential stress on point h

(4)位移数据表明,水压试验过程中,月牙肋顶部和底部区域向管壁内部收缩,其余腰线部位向管壁外侧膨胀,这与内加强月牙肋岔管的结构特性一致。

(5)体积变形数据表明,模型岔管试验压力在 13 MPa 以下时,注水量与试验压力为线性关系,超过 13 MPa 后,非线性变化趋势明显,如图 7 所示。

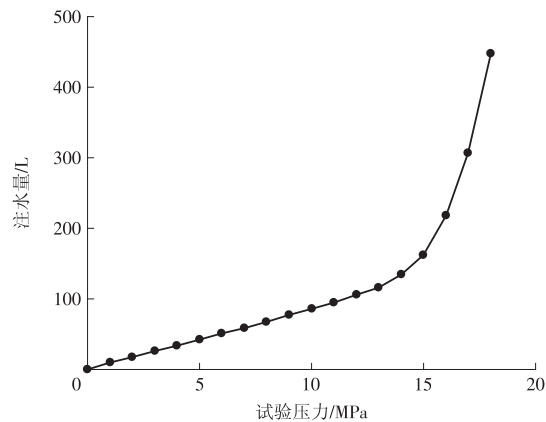


图 7 注水量与试验压力关系曲线

Fig. 7 Relationship between water injection volume and test pressure

(6)模型岔管焊缝经 100% 超声波探伤(UT)检测合格,焊缝系数 ψ 可取 1,模型岔管最大公切球直径 d_0 为 1922.8 mm,管节壁厚 t_0 为 24.00 mm,按公式 $K = \psi + 2t_0/d_0$ 计算,应力集中系数 $K = 1.024964$ 。抗拉强度按 550 ~ 673 MPa 取值,得到可能的爆破压力范围为 15.28 ~ 18.70 MPa,而模型岔管试验爆破压力值为 18.60 MPa,接近估算范围的上限,材料的整体性能得到了充分利用。

(7)模型岔管断口长 1530 mm、宽 850 mm,最大开口 470 mm,断口最小厚度为 19.2 mm。断口形貌如图 8 所示。模型岔管断口向 3 个方向延展,表明材料的各向同性较好。

(8)模型岔管设计压力为 6.24 MPa,实际爆破压力为 18.60 MPa,安全系数为 3.0,满足 NB/T



图 8 模型岔管断口形貌

Fig. 8 Fracture morphology of the bifurcated pipe model

35056—2015《水电站压力钢管设计规范》中的相关要求^[11]。

7 结论

(1)测试参数(应力、位移、变形)与试验压力成良好的线性关系,说明在试验压力下模型岔管处于弹性变形状态,同样说明测试系统的非线性误差得到了较好的控制。

(2)通过试验,Q460C 钢材的整体性能得到了全面的检验,同时验证了模型岔管设计的合理性及制作工艺的可靠性。

(3)模型岔管的结构安全系数达到相应标准要求。

参考文献:

[1]朱晓英,梅燕,胡木生,等. 国内大型水电站压力钢管用钢的探讨[J]. 水利电力机械,2007,29(8):42-46.

[2]张伟平,胡木生. 国产 790 MPa 级高强钢岔管水压试验测试及监测技术特性及成果[C]//第八届全国水电站压力管道学术会议论文集. 北京:中国水利水电出版社,2014:292-302.

[3]杨春国. 水电站压力钢管用 WSD690E 高强钢焊接研究与应用[J]. 华电技术,2016,38(10):13-16.

[4]韦庆华,余金凤,张宪民,等. 引水式水电站压力钢管岔管水压试验[J]. 广西水利水电,2019(2):10-13.

[5]邓小君. 钢管岔管水压试验的应力测试与分析[J]. 电焊机,2015,45(8):214-217.

[6]马耀芳,雷清华,曹麦对,等. 宜兴抽水蓄能电站引水钢管岔管水压试验测试[C]//第六届全国水电站压力管道学术会议论文集. 北京:中国水利水电出版社,2006:215-223.

[7]靳先聚. 宝钢产 800 MPa 高强钢模型岔管水压试验[J]. 应用能源技术,2015(11):8-10.

[8]陈丽芬,孟江波,王东锋. 抽水蓄能电站国产 800 MPa 级钢材钢管岔管模型试验研究[C]//第八届全国水电站压力管道学术会议论文集. 北京:中国水利水电出版社,2014:235-240.

(下转第 67 页)

取的数据、图像生成到设定的表格中,值班人员可通过值班电脑查看此表及抓拍图像,及时发现装车异常,装车异常电脑截图如图 9 所示。图中表格第 3 列为扫描火车平均高度,第 4 列为发运煤炭质量,第 3 列设定报警值为 1.50 m,低于该报警高度则显示煤质异常,便于值班员提前发现并预警。



图 9 装车异常图(截图)
Fig. 9 Abnormal loading(screenshot)

值班员通过此系统可提前了解来煤情况,当装车高度明显低于平均值,或来煤质量低于历史值时,会自动报警,提醒质检人员及时就地确认,及时发现煤质异常,并将预测值反馈给卸煤和上仓人员,指导卸煤区域科学堆煤和配煤上仓操作。为降低预判偏差,系统以每矿、每发站、每时间段数据为基础,通过剔除异常数,收集有效数,对测量值和预测值进行自动修正,形成每个单位和发站新的预测函数,从而有效降低预测值偏差,提高准确度。当然,根据堆积体积来计算煤质密度,进而对煤质进行判断是不严谨的,因为每次的堆密度之间,以及堆密度和实际密度之间均会有较大偏差,故存在误判的可能性。

3 结束语

煤质全过程管理要求强化煤炭质量管理,实施

全过程煤质管理创新。传统火车煤煤质预判主要依靠质检人工开展,工作量大且预判偏差大,本文通过摸索试验,建立数学模型,找出煤质与装车高度之间的关系,根据煤高对煤质粗略判断,对火车煤煤质进行预判,为精益化燃煤管理提供依据和方法。

参考文献:

[1]高美萍.浅谈强化煤炭企业全过程煤质管理的措施[J].煤质技术,2009(2):35-36.
[2]朱昊.煤质全过程管理的创新与实践[J].中国煤炭,2011(3):39-40.
[3]陈波.电厂燃料管理及煤质优化的措施[J].低碳世界,2016(5):62-63.
[4]王胜海.燃煤电厂煤质检验工作中问题探讨[J].科技经济导刊,2018,26(24):59.
[5]潘晶.燃煤电厂应用煤质在线监测技术的现状及前景[J].东北电力技术,2007(1):43-47.
[6]傅望安,田维一.在线煤质辨识系统在华能玉环电厂的应用[J].电力勘测设计,2010(5):38-42.
[7]孙永.火车入厂煤采样装置机械结构优化设计[J].华电技术,2015,37(12):10-14.
[8]张伟,魏晓云,李海柱,等.电厂入炉煤煤质成分在线监测[J].科技资讯,2017,15(29):80-81.
[9]亢丹.煤炭企业煤质全过程管理信息系统的研究[D].西安:西安科技大学,2016.
[10]刘震.逆向工程对不规则表面物体的体积测量[J].机电技术,2009(3):22-23.
[11]于湛麟,王立颖,毛少苗.求解一元高次方程数值解的并行计算方法[J].计算机应用研究,2017(11):126-128,133.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

陈宗辉(1974—),男,浙江镇海人,统计师,从事火电厂燃煤采、制、化、计量等全过程管理方面的工作(E-mail:1400392518@qq.com)。

张林渠(1976—),男,四川渠县人,工程师,从事火电厂运行管理方面的工作。

苟进(1979—),男,四川阆中人,工程师,从事火电厂运行管理方面的工作。

(本文责编:刘芳)

作者简介:

朱晨(1986—),男,河南西峡人,工程师,从事机电设备和金属结构设备质量检测工作(E-mail:zhuc@chec.com.cn)。

刘凤维(1986—),男,河北衡水人,工程师,从事水电金属结构制作与安装工作(E-mail:355791761@qq.com)。

张文科(1970—),男,甘肃天水人,高级工程师,从事水工金属结构技术管理工作(E-mail:569623072@qq.com)。

(上接第 57 页)

[9]姚敏杰,高雅芬.洪屏抽水蓄能电站内加强月牙肋钢管管原型水压试验研究[J].水力发电,2016,42(6):92-94.
[10]王康生,杨雄,熊涛,等.洪屏抽水蓄能电站钢管管水压试验[C]//中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会 2015 年学术交流会论文集.北京:中国电力出版社,2015:379-384.
[11]水电站压力钢管设计规范:NB/T 35056—2015[S].