沥水沟渡槽支撑结构承载力复核

王亚红,王正中,李晓辉,姚汝方 (西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西杨凌 712100)

[摘 要] 【目的】针对汶川大地震使沥水沟渡槽支撑结构遭受了不同程度的损坏,及其该渡槽已运行 30 多年存在不同程度老化的现状,对沥水沟渡槽承载力进行复核,为其加固或重建决策提供参考。【方法】利用有限元法对沥水沟渡槽支撑结构进行静力、动力分析,并通过现场检测混凝土强度,依据现行规范计算理论及方法对构件承载力进行复核。【结果】复核结果表明,该渡槽支撑结构在通过设计流量时承载力难以满足安全需要。【结论】为保证沥水沟渡槽安全运行,需对其进行加固或重建。

[关键词] 渡槽;动静力分析;支撑结构;承载力复核 [中图分类号] TV312 [文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)12-0218-05

Checking of lishui ditch aqueduct body bearing structure

WANG Ya-hong, WANG Zheng-zhong, LI Xiao-hui, YAO Ru-fang

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The bearing structure of lishui ditch aqueduct which was heavily damaged in Wenchuan Major earthquake has been running for more than 30 years. According to its current condition of damage and aging and demands of program decision, it is necessary to check its bearing capability and rationally evaluate its safety degree. The check results will supply theoretical reference for reinforcement or rebuilding. [Method] With FEM, the structure static and dynamic analysis of lishui ditch aqueduct bracing structure was made, and using site detection concrete strength and according to current code, its bearing capability was checked. [Result] The study shows that bearing capability of aqueduct bracing was not satisfactory under load case of passing through design flow. [Conclusion] This aqueduct can be used after being reinforced or rebuilt.

Key words: aqueduct; static and dynamic analysis; bracing structure; checking of a section bearing

沥水沟渡槽是石门水库东干渠跨越沥水沟的控 制建筑物之一,距石门水库坝址约 2.1 km,控制灌 溉面积 1.8 hm²,设计流量 30 m³/s,加大流量 32 m³/s,总长 214.1 m,其中槽身段长 160.6 m,最大 跨度 17.13 m,最大建筑高度 43.3 m。槽身采用预 应力混凝土迭合式"U"变厚度截面,下部采用钢筋 混凝土单肢排架及双肢排架支撑,属 II 等工程,3 级 建筑物。该工程 1972 年完工并投入运行,现已表现 出不同程度的老化及损坏。在经历汶川"5.12"地震 后,该渡槽在过水时渡槽整体出现晃动,工程安全性 降低,严重影响到灌区农田灌溉及汉中市供水,因此 需对该渡槽现状的安全性做出合理评价,以便对其 加固或重建进行科学决策。利用有限元法进行分析 能反映该渡槽纵向、横向相互影响的空间效应,真实 反映其受力特点^[1-4]。为此,本研究应用大型有限元 结构分析软件 ADINA,对沥水沟渡槽支撑结构进行 静力、动力分析,并对其安全性进行评估,旨在为其 除险加固提供理论支撑。

^{* [}收稿日期] 2009-04-09 [作者简介] 王亚红(1967-),女,陕西蒲城人,副教授,主要从事水工结构数值分析研究。

1 排架结构分析力学模型的建立

该渡槽支撑排架有2种型式,本研究选择典型 排架进行计算。单肢排架选择底部固定的8号排 架,计算高度14m;双肢排架选择底部固定的5号 排架,计算高度37.8m。单肢排架、双肢排架均按 空间结构分析计算。



图 1 单肢排架的尺寸示意图 Fig. 1 Schematic of single frame sizes

1.2 材料强度等级的确定

排架原设计为 200 号混凝土,由于新旧规范差 异,加之混凝土碳化,本次采用回弹法及超声回弹综 合法对混凝土进行现场检测,并按有关规范^[5-6]对检 测数据进行处理,确定单肢排架混凝土强度等级为 C20,双肢排架混凝土强度等级为 C18;依据竣工图 中的钢筋设计强度,确定钢筋级别为 I 级^[7-8]。

1.3 荷载及荷载组合

排架结构承载力复核时,垂直荷载包括槽身及 排架质量、槽内水质量、槽身在横向风压力作用下通 过支座传给肢柱的轴向压力或拉力;水平荷载包括 通过摩阻作用传给肢柱顶部的槽身横向风压力、作 用于排架立柱及横梁上的风压力、地震荷载。根据 所在地基本风压值取 0.462 kN/m^{2[9-12]},设防烈度 为7度,水平地震加速度峰值为 0.1 g^[13],采用振型 分解反应谱法计算地震作用效应。槽身和排架质量 等荷载按构件几何尺寸计算,各荷载分项系数依照 荷载规范^[9]取用,并满足水工混凝土结构设计规 范^[14]及水工建筑物抗震设计规范^[15]要求。

1.1 排架结构分析力学模型的建立

单肢排架和双肢排架的尺寸如图 1、图 2 所示。 在计算模型中,横梁及立柱均采用空间梁单元,单肢 排架共剖分 119 个节点,120 个单元;双肢排架共剖 分 768 个节点,760 个单元。*x* 轴指向槽身右侧,*y* 轴指向槽身水流下游,*z* 轴向上为正。结构分析时 认为材料均为线弹性体。



图 2 双肢排架的尺寸示意图

Fig. 2 Schematic of double frame

排架结构承载力复核时,共拟定 4 个荷载工 况^[16]。工况 1:槽身和排架质量+满槽水+人群荷 载+横向风荷载;工况 2:槽身和排架质量+空槽+ 人群荷载+横向风荷载;工况 3:槽身和排架质量+ 横向地震荷载+设计水荷载+横向风荷载;工况 4: 槽身和排架质量+纵向地震荷载+设计水荷载+横 向风荷载。

2 排架结构位移的分析

分析不同荷载组合下的横向、竖向弹性位移可 知,单肢排架在工况 1、工况 2 荷载作用下,立柱顶 部 *x*向水平位移最大为 18.8 mm,在工况 3 荷载作 用下,立柱顶部 *x*向水平位移最大为 48.03 mm,在 工况 4 荷载作用下,立柱顶部 *y*向水平位移最大为 148.38 mm。在工况 4 荷载作用下的竖向位移最 大,达 24.4 mm。

双肢排架在荷载工况 1、工况 2 荷载作用下, 立 柱顶部 x 向水平位移最大为 143.8 mm; 在工况 4 荷 载作用下, 立柱顶部 y 向水平位移最大为 128.06 mm,顶部竖向位移也达到最大,为79.2 mm。

由于分析时按线弹性模型分析,其计算值较实际值偏小,但从弹性位移计算结果可以得到排架整体变形分布情况。从计算结果分析排架变形较大, 且双肢排架变形大于单肢排架,结合现场变形测量 结果分析,原设计槽身纵向伸缩缝间距均为4 cm, 目前大多数槽身之间已无缝隙,实测槽身顶中心轴 线偏差最大达 9.95 cm,平均偏差达 3.96 cm,且支 座失效严重,也说明排架变位较大,进一步加大了槽 身纵向及横向变形。

3 排架结构承载力的复核

而不有有承认力的交位

大截面,偏心受力构件选取最大弯矩及相应的轴力、 最小轴力及相应的弯矩、最大轴力及相应的弯矩和 截面尺寸变化截面^[17]。

3.1 单肢排架

因轴向力较小,横梁按受弯构件计算,结果见表 1。表1中截面承载力值按实配钢筋面积及构件截 面尺寸计算;立柱按偏心受压构件计算,结果见表 2。由表1、表2可知,单肢排架部分横梁在荷载作 用下产生的内力大于其截面承载力,说明其承载力 不能满足安全要求;部分立柱按荷载作用下内力计 算,可知其需要钢筋面积大于实配钢筋,说明其承载 力也不能满足安全要求,故必须进行重建或加固。

表 1 单肢排架横梁控制断面内力及实际承载力的计算

Table 1	Control secti	on internal	force of	single	frame	beam	and	calculation	bearing
---------	---------------	-------------	----------	--------	-------	------	-----	-------------	---------

横梁	工况 1 Load case 1		工况 2 Load case 2		工ど Load	兄 3 case 3	截面承载力 Section bearing capacity	
Cross beam	弯矩/ (kN・m) Momen	剪力/kN Shear	弯矩/ (kN・m) Momen	剪力/kN Shear	弯矩/ (kN・m) Momen	剪力/kN Shear	弯矩/ (kN・m) Momen	剪力/kN Shear
4-4'	113.2	69.6	113.2	69.6	205.0	91.5	106.32	239.47
2-2'	227.6	120.9	132.5	120.9	384.8	248.0	88.9	142.7

表 2 单肢排架立柱控制断面内力及所需钢筋面积的计算

Table 2 Control section internal force of single frame column and calculation steel area

		工况 1 Load case 1			实配 纲链/		
立柱 Column	弯矩/(kN・m) Momen	轴力/kN Axial force	需配钢 筋/mm ² Required steel area	弯矩/(kN・m) Momen	轴力/kN Axial force	需配钢 筋/mm ² Required steel area	- mm ² Actual steel area
0'-1'	102.6	1 972.1	574	102.6	1 027.6	574	804
1'-2'	134.5	1 864.2	850	134.5	919.8	574	804
0-1	99.4	1 112.6	574	99.4	168.2	1 003	804
3-4	106.6	1 134.0	1 277	107.0	189.5	1 086	804
		工况 3 Load case 3			工况 4 Load case 4		实配 纲链/
立柱 Column	弯矩/(kN・m) Momen	轴力/kN Axial force	需配钢 筋/mm ² Required steel area	弯矩/(kN・m) Momen	轴力/kN Axial force	需配钢 筋/mm ² Required steel area	mm ² Actual steel area
0'-1'	201.3	11 037.3	27 210	545.3	10 352.6	24 247	804
1'-2'	274.4	10 851.4	27 565	467.4	10 308.6	24 329	804
0-1	49.6	9 436.3	20 196	545.2	10 133.4	25 720	804
3-4	226.0	956.2	28 985	63.0	10 083.9	21 045	804

3.2 双肢排架

横向梁及纵向梁按受弯构件计算,结果见表 3; 在工况 2 作用下,立柱横向迎风面出现拉力,可按偏 心受拉构件计算,在其他荷载工况下可按偏心受压 构件计算,结果见表 4;在工况 4 作用下,立柱纵向 按偏心受压构件计算,结果见表 5。

由表 3~5 可知,横向梁及纵向梁在荷载作用下

产生的弯矩大于截面能够承担的弯矩,而剪力小于 截面能够承担的剪力,故其正截面承载力不能满足 安全要求,而斜截面承载力满足安全要求;对双肢排 架按不同荷载工况下的内力进行计算,可得其需要 钢筋面积大于实配钢筋,说明其承载力不能满足安 全要求,故也必须进行重建或加固。

表 3 双肢排架横向梁及纵向梁控制断面内力及承载力的计算

Table 3 Control section internal force of double frame transverse & longitudinal beam and calculation bearing

		工况	L 1	工资	Ł 2	工况	Ł 3	工资	Ł 4	截面承	载力	
位置 Location		Load c	Load case 1		Load case 2		Load case 3		Load case 4		Section bearing capacity	
		弯矩/ (kN・m)	剪力/ kN									
		Momen	Shear									
構向逤	10-10'	102.6	65.2	102.8	65.2	116.9	71.1			91.7	229.0	
低内木 Trans-	7-7′	187.0	75.7	186.9	75.7	182.4	84.5			61.77	122.3	
verse	4-4'	239.8	98.6	239.9	98.6					74.84	122.3	
beam	3-3′	249.4	99.8	249.5	98.8					82.44	122.3	
纵向梁 Longitu-	K-K'							74.1	52.9	91.70	229.0	
dinal beam	E-E'							123.2	74.1	63.50	100.1	

表 4 双肢排架立柱横向断面控制内力及所需钢筋面积的计算

Table 4 Control section transverse internal force of double frame column and calculation steel area

工况 1				工况	2	工况 3				
		Load case	1		Load ca	se 2		Load	case 3	实配钢筋/
立柱 Column	弯矩/ (kN・m) Momen	轴力/ kN Axial force	需配钢筋/ mm ² Required steel area	弯矩/ (kN・m) Momen	轴力/ kN Axial force	需配钢筋/ mm ² Required steel area	弯矩/ (kN・m) Momen	轴力/ kN Axial force	需配钢筋/ mm ² Required steel area	mm² Actual steel area
0'-1'	30.3	2 107.4	2 364	30.2	1 494.6	2 682.3	27.0	7 700.2	$21 \ 475$	686
1'-2'	171.4	2 042.3	4 233	171.3	1 429.5	2 597.3	97.3	6 763.7	16 569.4	686
3'-4'	125.2	1 776.2	3 508	122.1	1 180.5	3 329.2	25.7	7 462.6	17 924	603
9'-10'	102.7	1 065.0	1 278	102.9	452.2	711.8	97.3	6 828.4	17 395	603
1-2				160.0	-167.6	2 922	16.4	6 344.7	14 091	686
3-4				115.0	-62.1	2 148	30.7	7 147.1	17 114	603
9-10				57.3	234.1	400	92.5	67.7	$17 \ 142$	603

注:表中轴向拉力为负,压力为正。

Note: Axial tension are negative, and axial compression are possitive above table

表 5 在工况 4 荷载作用下双肢排架立柱纵向控制断面内力及所需钢筋面积的计算

Table 5 Control section longitudinal internal force of double frame column under case 4 and calculation steel area

立柱 Column	弯矩/(kN・m) Momen	轴力/kN Axial force	需配钢筋/mm ² Required steel area	实配钢筋/mm² Actual steel area
A'-B'	51.5	7 435.7	17 913	850.6
B'-C'	49.7	6 206.6	14 376	850.6
D'-E'	62.7	7 225.9	18 107	804
J'-K'	65.2	6 665.0	16 576	427
A-B	51.5	7 861.7	19 128	850.6
B-C	69.3	7 784.8	19 420	850.6
D-E	62.3	7 541.3	19 000	804
J-K	65.2	6 724.9	16 745	427

4 复核结果与原设计结果的比较

比较 8 号单肢排架、5 号双肢排架立柱配筋计 算所得的钢筋用量与原设计实际钢筋用量可知,计 算所需钢筋用量明显增加,分析其原因主要有以下 几点:

①新旧设计规范依据的计算理论不同。原结构 设计按单一安全系数的破坏阶段法设计^[18],而本研 究设计所依据规范的计算理论采用概率极限状态设 计法,其安全性明显提高。

②材料强度取值减小。工程经过 30 多年运行,

存在不同程度的老化和损坏。混凝土碳化等使混凝 土强度等级低于原设计等级,而汶川"5.12"地震使 构件不同程度受到损伤,势必使混凝土强度等级进 一步降低,加之结构计算时材料强度取值保证率增 大,配筋计算时强度设计值降低。

③地震荷载设计值增大。根据《中国地震动参数区划图》国家标准第1号修改单,基本烈度7°,工程场地为Ⅱ类场地,特征周期*T*g由原来的0.2 s增大到0.45 s,由此地震荷载设计值增大。

④风荷载基本风压值取值增大。原设计风荷载 取 32 kg/m²,本次复核取 0.462 kN/m²。查规 范^[9-12]基本风压图,汉中地区基本风压值为 0.35 kN/m²。对于水工高耸结构,其基本风压按全国基本风压图中的基本风压值乘以 1.1 后采用。与大风方向一致的山口,其基本风压值乘以调整系数 1.2, 故取 0.462 kN/m² 作为本渡槽的基本风压值。

5 排架配筋构造的复核

对单肢、双肢排架的配筋构造复核结果表明,箍 筋直径偏小、间距过大、配箍率偏小,箍筋在梁和柱 结点附近未加密等不能满足静力及抗震设防要求; 纵筋配筋率偏小、部分立柱纵筋直径(12 mm)偏小, 抗震设防要求纵筋直径应≥14 mm,故不能满足抗 震设防要求;原配筋图中立柱混凝土保护层厚度仅 25 mm,按现行规范要求不得小于 35 mm。由此可 见,该工程多项构造要求不能满足现行规范的要求。

6 结 论

单、双肢排架配筋构造、混凝土保护层厚度等不 能满足现行规范的要求;单、双肢排架在通过设计流 量时其承载力不能满足安全要求;汶川"5.12"地震 加剧了沥水沟渡槽支撑结构的破坏,使支撑结构基 本丧失承载能力;安全度远小于现行规范规定值,建 议对该工程进行加固或重建。

[参考文献]

 赵 瑜,白新理,原小杰.东深供水改造工程渡槽支承结构受力 分析 [J].灌溉排水,2002,21(3):53-55.
 Zhao Y,Bai X L,Yuan X J. Mechanical analysis on flume sup-

port structure in Dong-Shen water supply reconstruction project [J]. Irrigation and Drainage, 2002, 21(3): 53-55. (in Chinese)

[2] 吴红华,李正农,楼梦麟.排架支撑式渡槽结构风致反应的动力 有限元计算和分析 [J]. 地震工程与工程震动,2004,24(1): 130-134.

Wu H H, Li Z N, Lou M L. Calculation and analysis of dynamic finite element for aqueduct structure with framed bent support [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2004, 24(1):130-134. (in Chinese)

[3] 李声平,彭翠玲,吴杰芳.大型U形双渡槽结构动力分析[J]. 长江科学院院报,2005,22(4):68-71.

Li S P, Peng C L, Wu J F. Dynamic analysis on double U shaped aqueduct structure [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2005,22(4):68-71. (in Chinese)

[4] 钟汉华,冷 涛,郑 玲.引丹灌区某渡槽数值计算分析及病险 处理[J].长江科学院院报,2008,25(6):58-61.

Zhong H H, Leng T, Zheng L. Numerical analysis and risky treatment of some aqueduct of Danjiangkou reservoir [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25(6): 58-61. (in Chinese)

- [5] 陕西省建筑科学研究设计院. JGJ/T 23-2001 回弹法检测混 凝土强度技术规程 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001. Shaanxi Building Research& Design Institute. JGJ/T 23-2001 Technical specification for inspection of concrete compressive strength by rebound method [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2001. (in Chinese)
- [6] 中国建筑科学研究院. CECS:02:2005 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2005. China Academy of Building Research. CECS:02:2005 Technical specification fordetecting strength of concrete by ultrasonic-reboundcombined method [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2005. (in Chinese)
- [7] 沈在康. 混凝土结构设计新规范应用讲评 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.
 Shen Z K. Review on application of code for design of concrete structures [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1993. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国城乡建设环境保护部.GBJ 10-89 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,1990. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GBJ 10-89 Code for design of concrete structures [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,1990. (in Chinese)
- [9] 电力工业部中南勘测设计研究院. DL 5077-1997 水工建筑物 荷载设计规范 [S]. 北京:中国电力出版社,1998.
 Mid-South Design & Research Institute. DL 5077-1997 Specifications for load design of hydraulic structure [S]. Beijing: China Electric Press,1998. (in Chinese)
- [10] 中华人民共和国城乡建设环境保护部. GBJ 9-87 混凝土结构荷载设计规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,1996.
 Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GBJ 9-87 Load code for design of concrete structures [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,1996. (in Chinese)
- [11] 中华人民共和国建设部.GB 50009-2001 建筑结构荷载规范
 [S].北京:中国建筑工业出版社,2001.
 Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China.GB 50009-2001 Load coad for the design of building structure [S]. Beijing:China Architecture & Building Press,2001.(in Chinese)
- [12] 同济大学、GBJ 135-90 高耸结构设计规范[S].北京:中国 建筑工业出版社,1996.
 Tongji University. GBJ 135-90 Code for design of towering structures [S]. Beijing:China Architecture & Building Press, 1996.(in Chinese)
- [13] 胡聿贤.GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》宣贯教材 [M].北京:中国标准出版社,2001.

Hu Y X. Teaching materials for publicity and training of "Zonation Map of Earthquake Ground Motion Parameters of China(GB 18306-2001)" [M]. Beijing: China Standard Press, 2001. (in Chinese) (下转第 228 页)