

邕宁水利枢纽工程坝顶双向门机设计

唐松智 姚 雷
(工程设计院)

[摘要] 邕宁水利枢纽工程坝顶 2000 kN/2 × 1000 kN/2 × 630 kN 双向门机是一种高扬程、大跨度、双悬臂、可斜拉的多起升机构门机。本文就门机设计中的一些关键问题如滑轮组倍率的选择、钢丝绳缠绕层数的确定、多小车同轨运行防撞措施和地沟翻板式滑触线的布置等进行了分析论证,并给出了解决方案,文中还对这种门机的结构进行了 ANSYS 有限元分析。

[关键词] 邕宁水利枢纽 门机 多小车同轨 防撞措施 有限元分析

1 概述

邕宁水利枢纽工程位于广西郁江干流南宁段邕江下游青秀区仙葫开发区牛湾半岛处,上距南宁市邕江一桥 44 km,距老口枢纽 74 km,下距西津水电站 124 km。水库正常蓄水位 67m,总库容 7.1 亿 m³,电站装机容量 57.6 MW (6 × 9.6MW),多年平均发电量 2.206 亿 kW · h 时,通航标准为 2000 吨级。邕宁水利枢纽工程由发电厂房、泄洪建筑物(溢流闸坝)、两岸接头重力坝、通航建筑物(船闸)、过鱼建筑物(鱼道)等部分组成。

在坝顶 81.80 m 高程上,安装一台 2000 kN/2 × 1000 kN/2 × 630 kN 双向门机,运行在泄水闸与厂房区段,运行距离为 557m。门机共设置 4 个起吊装置。在跨中设置 2000 kN 主小车,用于机电设备进场、水轮发电机组安装和维修;在上游悬臂段设 2 × 1000 kN 副小车,用于厂房进水口检修门、泄洪闸上游检修门、厂房进水口拦污栅的启闭和吊运;在下游悬臂段设置 2 × 630 kN 固定卷扬式启闭机,用于泄洪闸下游检修门的启闭和吊运;在距门机左主梁中心外侧 1.5m 处设置 160kN 电动葫芦,用于坝面零星物品的调运。

门机轨距 21.5 m,上游悬臂梁长度 14 m,下游悬臂梁长度 6 m。2000 kN 主小车在跨内运行,吊具

至上、下游轨道中心的极限距离均为 4 m;2 × 1000 kN 副小车除在上游悬臂段运行外,还需在门机跨内局部区域运行,其吊具至上游轨道中心的极限距离有两个:小车在跨外时为 9.6 m,小车进入跨内时为 1.33 m;2 × 630 kN 固定卷扬式启闭机位于门机下游悬臂段,吊具至下游侧轨道中心距离为 3.09 m。这种型式的门机在以往水电站中并不多见。由于门机主梁上游悬伸长,且上游副小车起重量大而且有斜拉起吊的工况,使门架的结构受力变得较为复杂。为了能够准确的了解门架结构的应力和变形情况,保证门机运行的安全性,采用计算机通用分析软件 ANSYS 对门架结构进行了有限元分析。

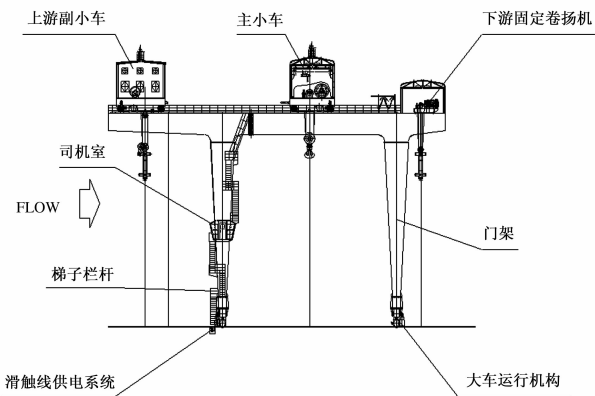


图 1 门机总布置图

作者简介:唐松智(1962—),男,河南省洛阳人,教授级高工,从事水利水电金属结构专业设计工作。

2 门机主要组成与技术参数

门机主要由主小车、上游副小车、下游固定卷扬式启闭机、门架、大车运行机构、夹轨器、滑触线供电

系统、司机室、轨道附件和电气设备等组成(见图1)。门机操作在司机室内进行。门机主要技术参数见表1。

表 1 门机主要技术参数

机构	额定启门力 (kN)	轨上/总高度 (m)	工作级别	起升速度 (m/min)	运行荷载 (kN)	运行速度 (m/min)	轨距 (m)	基距 (m)
主起升	2000	21/56	Q3	0.2~2.0/0.2~4.0				
主小车运行			Q3		2000	0.5~5.0	9	4.5
上游副起升	2×1000	21/56	Q3	0.2~2.0/0.2~4.0				
上游副运行			Q3		2×500	0.5~5.0	9	4.5
下游起升	2×630	21/56	Q3	0.2~2.0/0.2~4.0				
大车运行			Q3		2000	2.0~20.0	21.5	12

3 主要技术问题及应对措施

3.1 滑轮组倍率的选择

滑轮组倍率对启闭机的总体尺寸影响较大。倍率增大,钢丝绳的分支数增多,钢丝绳的拉力减小,从而可以减小钢丝绳、滑轮以及卷筒的直径。但在

提升扬程不变的情况下,钢丝绳多层返回角控制困难,卷筒长度或直径可能需要增大;同时,如保持原定的提升速度不变,卷筒转速也需要提高,这些都有可能使启闭机的总体尺寸变大。因此,滑轮组倍率的选定需要进行综合比较。根据以往设计经验,滑轮组倍率一般可按表2选择。

表 2 卷扬式启闭机在不同启闭容量时推荐选用的滑轮组倍率

启闭容量(kN)	50~250	320~400	630~1600	2000~4000	≥5000
滑轮组倍率	2	4	6	8	≥10

按照表2确定的倍率设计的启闭机,其整体结构一般较为紧凑合理,配套的传动机构部件如减速机、电动机、联轴器、制动器等一般可以选到和采购到合适的产品。当启闭容量确定后,减小滑轮组倍率,会使减速器等传动机构部件型号加大,导致整台启闭机的生产成本升高。反之,增大滑轮组倍率,则传动部件受力减小,启闭机的整体成本相应减小,但会导致钢丝绳长度增加,使卷筒加长或加粗,并导致钢丝绳的偏斜角过大而跳出滑轮槽进而引发事故。本门机主小车的吊具起升容量为2000 kN,滑轮组倍率取为8;副小车的单钩起升容量为1000 kN,滑轮组倍率取为6;下游固定卷扬式启闭机单吊点容量为630 kN,滑轮组倍率取为6。

需要指出的是,表2所列滑轮组倍率值不适用于弧门卷扬式启闭机。

3.2 钢丝绳缠绕层数的确定

钢丝绳缠绕层数对启闭机设计布置影响也很大。目前,在新版《水利水电工程启闭机设计规范》SL41-2018的附录B中,针对不同起闭扬程相应给出了钢丝绳缠绕的推荐层数,可供启闭机设备招标阶段或启闭机初步设计阶段方案布置时选用。实践

表明,按照SL41附录B中推荐的钢丝绳缠绕层数进行方案布置,启闭机可基本达到结构紧凑、经济合理。

以主小车为例,启闭力为2000 kN,启闭扬程为56 m,对比SL41的附录B2.1,扬程在50~90 m范围时推荐的钢丝绳缠绕层数为3~4层,由于56 m扬程靠近该扬程范围的下限值50 m,故钢丝绳实际缠绕层数选为3层。按此进行计算,钢丝绳返回角控制在0.25°~1.5°以内,卷筒直径为1.4 m,减速器型号为D4PSF110 N,小车架平面尺寸为5.5 m×9.8 m。如果钢丝绳在卷筒上缠绕2层,在钢丝绳返回角也控制在0.25°~1.5°以内时,卷筒直径需扩大到1.8 m,减速器型号需要加大为D4PSF120N,造成传动链上每个部件都要加大,小车架平面尺寸也要加大到6.0 m×10.5 m,同时也引起整个门机平面尺寸的加大,导致整机制造成本大为增加。

由于本门机的主小车、上游副小车和下游固定卷扬机的启闭扬程均为56 m,故钢丝绳在卷筒上的缠绕层数均采用3层。

3.3 小车防撞撞的措施

本工程进水口拦污栅为斜栅,与坝顶平面夹角

为 75°,在栅槽入口处,其上游副小车起吊中心距上游轨道中心 6691.62 mm,若将拦污栅起吊中心线斜向上延至门架上平面,其吊点中心将位于门机跨内距上游侧轨道 299.17 mm 处。当上游副小车运行至此处,如主小车也位于其上游极限位置时,主、副小车将交叉重叠约 2778 mm。为防止主、副小车在此运行区段发生碰撞,在主、副小车的相临侧,设置了红外测距装置,型号 OS50 - K1000VP6,标称检测距离 1000 mm,当主、副小车的净间距 ≤ 1000 mm 时,防撞装置控制器发出报警信号并自动控制小车停止运行。

3.4 地沟翻板式滑触线及断面布置

本门机运行距离约 557 m,若再考虑门机接线箱到接线开关的距离,门机供电电缆长度将接近 1000 m。若采用常规电缆卷筒低压供电,压降较大,将使起升机构电动机启动困难。为此本门机大车供电采用滑触线供电。滑触线布置在门机上游轨道外侧的地沟内(见图 2),沟宽 700 mm,深 1000 mm,沟侧面至上游轨道中心 800 mm,沟顶铺活动盖板,其铰心位于上游,当翻板器随门机运动时盖板掀开,运动过后盖板随之自动落下。滑触线采用 3 相 4 线制。

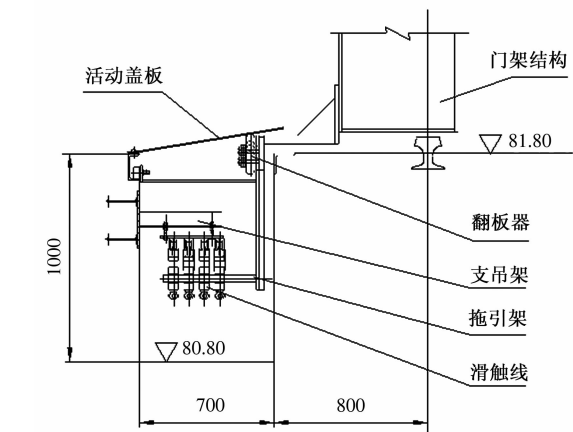


图 2 地沟翻板式滑触线断面布置

3.5 门架结构有限元计算(感觉没啥实质内容)

门架有三个互相垂直、各节点假设为刚性连接的框架(即主框架、侧框架和平台框架)所组成。主框架由主梁及支腿组成 II 型。该门架悬臂较大,受力复杂,设计中,除了按沿用的平面框架进行结构分析外,还将门架作为空间结构进行了板、梁系统的多维有限元分析,以反映实际的受力情况。

根据《水利水电工程启闭机设计规范》(SL41)

选择了 5 种起控制作用的荷载组合进行了有限元分析。门架材质 Q345B,许用应力 $[\sigma] = 225$ MPa,跨中许用挠度 $[f] = 26.875$ mm,上游悬臂段许用挠度 $[f] = 40$ mm,下游悬臂段许用挠度 $[f] = 17.14$ mm。各工况荷载组合情况及有限元分析的主要结果如下:

(1) 工况 1

副小车位于跨外并起吊 1.0 倍的运行荷载,起吊中心至上游轨道中心距离 9600 mm;主小车位于上游极限位置并空载,吊具中心至上游轨道距离 4000 mm;下游固定卷扬式启闭机空载;工作风压 250 N/m²,风向垂直于大车轨道并指向上游。工况 1 主要构件计算结果为:

跨中最大应力为 53.5 MPa,垂直方向最大挠度为 3.3 mm;

上游悬臂段最大应力为 112.3 MPa,垂直方向最大挠度为 27.8 mm;

下游悬臂段最大应力为 49.6 MPa,垂直方向最大挠度为 3.2 mm。

(2) 工况 2

副小车位于跨外并起吊 1.1 倍的额定荷载,起吊中心至上游轨道中心距离 3900 mm;主小车位于上游极限位置并空载,吊具中心至上游轨道中心距离 4000 mm;下游固定卷扬式启闭机空载;工作风压 250 N/m²,风向垂直于大车轨道并指向上游。工况 2 主要计算结果为:

跨中最大应力为 48.7 MPa,垂直方向最大挠度为 2.9 mm;

上游悬臂段最大应力为 99.8 MPa,垂直方向最大挠度为 20.8 mm;

下游悬臂段最大应力为 43.5 MPa,垂直方向最大挠度为 2.9 mm。

(3) 工况 3

主小车位于上游极限位置并起吊 1.1 倍的额定荷载,起吊中心至上游轨道中心距离 4000 mm;副小车位于跨外并空载,吊具中心至上游轨道中心距离 3900 mm;下游固定卷扬式启闭机空载;工作风压 250 N/m²,风向垂直于大车轨道并指向上游。工况 3 主要计算结果为:

跨中最大应力为 87.9 MPa,垂直方向最大挠度为 5.1 mm;

上游悬臂段最大应力为 67.5 MPa,垂直方向向

大挠度为 2.5 mm;

下游悬臂段最大应力为 41.3 MPa,垂直方向最大挠度为 2.4 mm。

(4) 工况 4

主小车位于跨中并起吊 1.25 倍的额定荷载,起吊中心至上游轨道中心 10750 mm;副小车位于跨外并空载,起吊中心至上游轨道中心距离 3900 mm;下游固定卷扬式启闭机空载;工作风压 250 N/m²,风向垂直于大车轨道并指向上游。工况 4 主要计算结果为:

跨中最大应力为 114 MPa,垂直方向最大挠度为 10.9 mm;

上游悬臂段最大应力为 76.3 MPa,垂直方向最大挠度为 3.7 mm;

下游悬臂段最大应力为 59.8 MPa,垂直方向最大挠度为 1.9 mm。

(5) 工况 5

下游固定卷扬式启闭机起吊 1.1 倍的额定荷载;主小车位于下游极限位置并空载,起吊中心至下游轨道中心距离 4000 mm;副小车位于跨外并空载,起吊中心至上游轨道中心距离 3900 mm;工作风压

250 N/m²,风向垂直于大车轨道并指向下游。工况 5 主要计算结果为:

跨中最大应力为 35.8 MPa,垂直方向最大挠度为 1.6 mm;

上游悬臂段最大应力为 59.8 MPa,垂直方向最大挠度为 3.2 mm;

下游悬臂段最大应力为 45.7 MPa,垂直方向最大挠度为 1.7 mm。

根据门架结构 5 种工况的静态分析结果,表明各种工况计算结果均满足规范规定的强度和刚度要求,门机的结构是安全的。

4 结语

邕宁水利枢纽工程坝顶 2000 kN/2 × 1000 kN/2 × 630 kN 双向门机由黄河勘测规划设计研究院有限公司设计,郑州水工机械厂有限公司制造,于 2017 年 6 月安装完毕并投入运行,各项数据均满足规范要求。该门机大跨度、双悬臂及配置 3 套起升机构的坝顶门机的布置型式为今后水利工程同类门机的设计提供新的思路,具有较高的推广应用价值。

饮水思源、溯源寻根、江河安澜、重任在肩——记黄河流域水量分配方案优化及综合调度关键技术项目黄河源区科考

为推动国家重点研发计划项目“黄河流域水量分配方案优化及综合调度关键技术”研究,对黄河源区水资源与生态环境变化情势、上游梯级水库群运用调度情况进行深入了解,项目组织公司规划研究院、中国水利水电科学研究院、南京水利科学研究院、黄河水利科学研究院、黄河水文水资源科学研究院、清华大学、北京师范大学、郑州大学等 10 家单位,有关专业人员共 19 人,于 2019 年 7 月 28 日至 8 月 4 日赴黄河源区进行了“饮水思源、溯源寻根”的科学考察。

黄河源区是黄河主要的产水区,地处青藏高原、生态环境脆弱,极易受到气候变化和人类活动干扰。本次科考活动重点是对黄河源区水资源与生态环境变化情势、上游梯级水库群运用调度情况进行充分查勘调研,探究变化环境下黄河源区产水条件和生态环境演变对黄河流域水资源安全的影响。科考队从西宁出发,经永靖、玛曲、久治、达日、曲麻莱,翻越巴颜喀拉山到达黄河源头约古宗列曲,经玛多、兴海、共和县返回西宁,行程 3000 余公里。在平均海拔 4000 m 的黄河源区,队员们克服了道路崎岖、天气多变、高寒缺氧等不利因素,沿途考察了包括源头约古宗列曲、卡日曲和扎曲,源于巴颜喀拉山北麓的达日九曲,源于阿尼玛卿雪山的东科曲、西科曲,源于岷山北麓的黑河等 20 余条河流,以及扎陵湖、鄂陵湖、岗纳格玛措等源区重要湖泊,并考察了玛曲、吉迈、唐乃亥等多个干流水文站以及刘家峡、龙羊峡等大型水库和电站。

此次考察主要涉及水文水资源、河流泥沙、地质地貌、水生态、水土保持、水库调度、水力发电等多个领域,通过现场查勘、座谈、无人机航拍、水质采样等多种手段,现场与水文站、水库、水电站技术人员详细交流,并及时召开内部总结讨论会,收集了项目所需的基本资料,对河源区等有了更加全面的认识,圆满完成了黄河源区考察任务,为进一步开展项目相关技术研究打下了坚实的基础。

摘自《黄河设计院内部信息网》