

# 水电厂球阀前压力钢管连接明段的安全评价

张宏雁<sup>1</sup>, 唐杰<sup>2</sup>, 周松<sup>2</sup>

(1 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072; 2 四川省电力工业调整试验所, 四川 成都 610016)

**摘要:** 自一里电厂压力钢管由于种种原因, 采取了非正常措施进行重新对口, 对该段明管进行了应力实测, 采用有限元方法进行应力分析, 并进行了强度校核, 为压力钢管的安全性评定提供了科学的依据。

**关键词:** 压力钢管; 有限元分析; 强度校核; 安全性评价

**Abstract:** Due to some reasons the penstock in Ziyili Electric Power Station is welded by the abnormal approach. The stress distribution of the unburied penstock is measured in situ, then it is analyzed with finite element method and the strength assessment is carried out. The obtained results provide a scientific foundation for the safety assessment of the penstock.

**Key words:** penstock; finite element method; strength assessment; safety evaluation

**中图分类号:** TV34 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2009)03-0089-04

自一里电厂为引水式电厂, 机组海拔 1 545 m, 正常蓄水位海拔为 2 034 m, 最高水位 (全厂甩负荷) 为 2 034 m, 额定水头 447 m, 最高静态水头 474 m, 最高工作水头 560 m (甩负荷时), 钢管直径 1.2 m。引水建筑物由隧洞进水口、圆形压力隧洞、气垫调压室及压力管道组成。压力管道位于引水建筑物的末端, 为地下埋藏结构, 由钢筋混凝土衬砌和钢板衬砌。压力钢管通过连接段明管和球阀及蜗壳连接。蜗壳前明管段直径 1 200 mm, 材料 16 MnR, 公称壁厚 36 mm。

电厂 1 号机组在基建过程中, 由于种种原因, 造成压力引水管和连接管左右错口达 38 mm, 无法正常安装。通过业主、设计及安装单位讨论, 采取非正常措施进行重新对口, 将原管子左右斜向 45° 开 4 条口子, 进行对口后再焊接恢复。由于破坏了原来压力钢管结构, 为保证自一里电厂的安全运行, 防患于未然, 结合自一里电厂压力钢管实际情况和现场条件, 对自一里电厂压力钢管球阀前连接明管进行了安全分析和评价。

明管段原为焊接钢管, 有纵缝一条, 下游侧与发兰盘焊接而成, 如图 1 所示。

而经过现场非正常施工后, 在该段管子上重新开了 4 条 45° 的焊缝, 形成了 2 个喇叭焊口, 与上游环缝

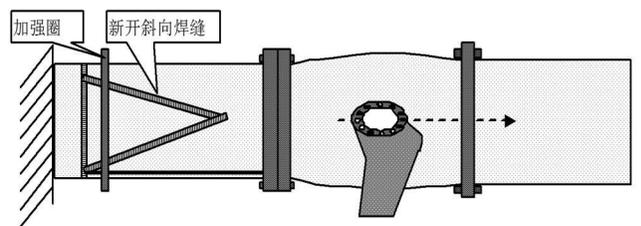


图 2 补焊后明管段结构示意图

形成 4 个新的丁字焊缝, 如图 2 所示。

## 1 1号球阀进水接管应力实测及分析

### 1.1 1号球阀进水接管应力实测测点布置

由于在进水接管纵向有四条焊缝, 因此应力实测时将测点主要布置在焊缝附近。一共选取了 10 个测点, 图 3 所示为前 5 个测点, 后 5 个测点在另一面。在每个点处粘贴应变片, 其中应变片 0 方向为进入接管纵向, 具体测点布置和应变片粘贴方式如图 3 所示。在进水接管未冲水前, 将应变片粘贴好并将应变仪调平, 因此实测的应变值为进入接管冲水后的应变增量。

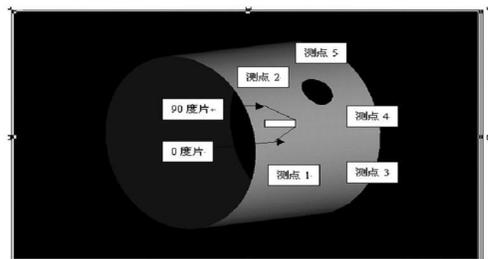


图 3 测点布置和应变片粘贴方向

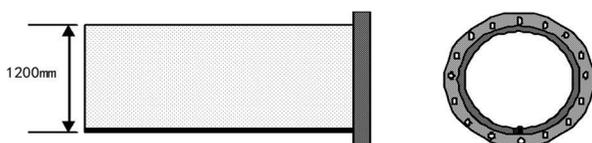


图 1 明管段原结构示意图

## 1.2 1号球阀进水接管应力实测结果及分析

由于进水接管结构的轴对称性,下面给出的测点 1 三个方向的应变以及相应计算的应力值反映了进水接管的应力状态。表 1 为测点 1 的实测记录。

表 1 测点 1 三个方向的实测应变数据

水压值 (MPa)	0°方向应变 $\epsilon_0 (\mu\epsilon)$	45°方向应变 $\epsilon_{45} (\mu\epsilon)$	90°方向应变 $\epsilon_{90} (\mu\epsilon)$
0.51	163	136	156
0.80	177	140	167
1.10	200	151	182
1.42	220	160	195
1.48	254	243	230
1.56	139	146	123
1.64	185	192	170
1.70	194	199	179

由表 1 的实测应变值计算得到的测点 1 的两个主应力如表 2 所示。

表 2 测点 1 的两个主应力

水压值 (MPa)	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)
0.51	49.22	41.91
0.80	54.00	44.16
1.10	60.87	48.26
1.42	66.84	51.73
1.48	70.99	67.29
1.56	40.04	34.81
1.64	53.22	48.20
1.70	55.52	51.04

图 4 和图 5 给出了测点 1 的两个主应力随水压力的变化曲线。

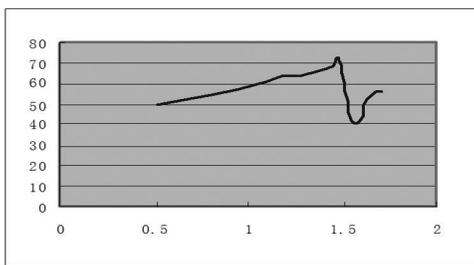


图 4 第一主应力  $\sigma_1$  随水压变化的曲线

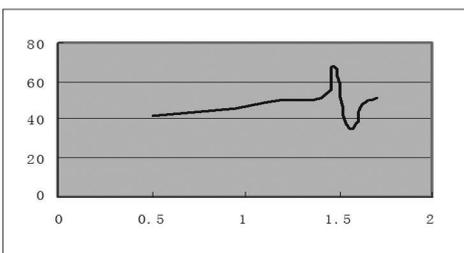


图 5 第二主应力  $\sigma_2$  随水压变化的曲线

从图 4 和图 5 可见,在初阶段主应力随水压增大

而增大,近似线性关系。当水压力为 1.48 MPa 时突然下降,然后再增加的现象。这一变化表明,在初始时期,整个进水管并未被完全充满水,这时进水管的应力是由于水压产生的弯曲应力和剪应力,但应力水平不高,只有 70 MPa。当整个进入管充满水后,进水管相当于受内压的园筒,这时进水管只受水的自重作用产生弯曲应力,因此应力有突然减小的现象。随着水压力的增大,内压力产生的应力效应就会越来越大,从而使主应力随水压力增大而再次增大。

## 2 1号球阀进水接管应力分析的计算仿真

### 2.1 1号球阀进水接管整体有限元分析

如图 6 至图 8 所示为进水接管整体计算采用板单元离散时的模型和计算结果图。图 9 到图 10 为进水接管整体计算时用三维实体单元离散的模型和计算结果图。从 Von Mises 等效应力分布可见,进水接管大部分区域的应力值在 80~100 MPa 而开孔附近的局部区域存在较大应力,达到 300 MPa 因此开孔处应有相应措施补强。

### 2.2 进水接管左右两块产生水平位移 34 mm 的有限元计算

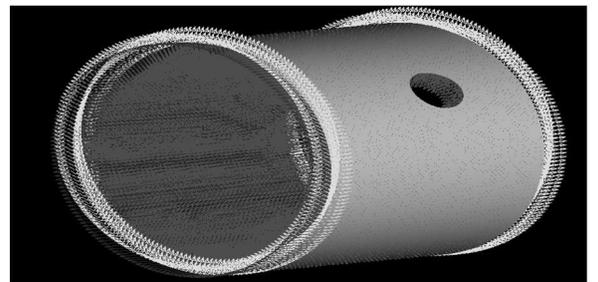


图 6 板单元离散时的有限元模型图

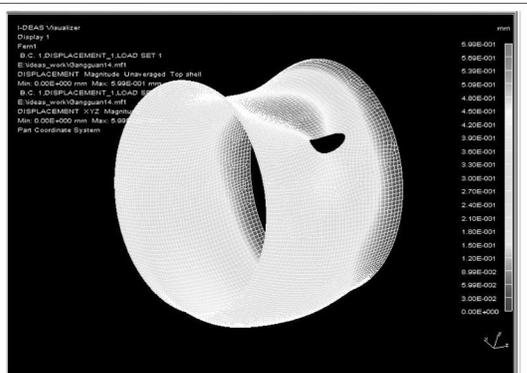


图 7 板单元离散时的整体变形图

如图 11 至图 12 所示为进水接管水平块采用板

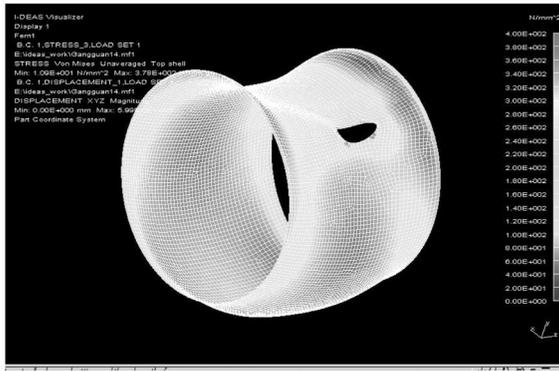


图 8 板单元离散时的 Von Mises 等效应力分布图

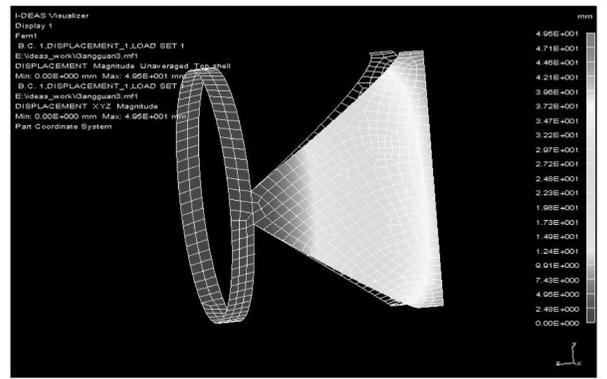


图 11 集中力作用时水平块的中部产生 34 mm 水平位移时整块的变形图

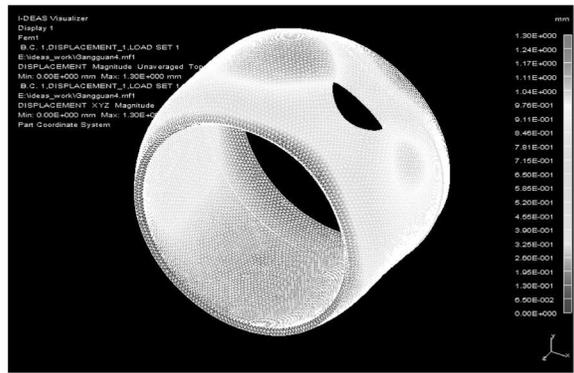


图 9 实体单元离散时的整体变形图

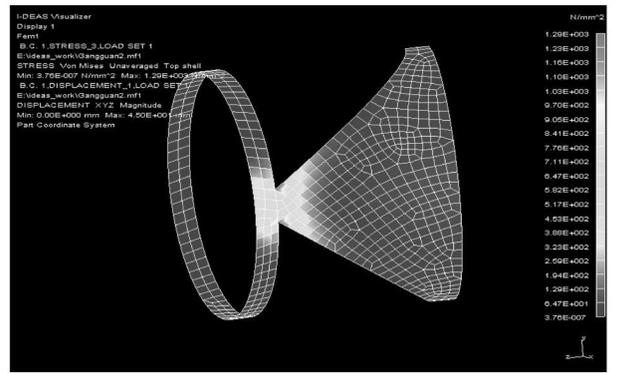


图 12 集中力作用时水平块的 Von Mises 等效应力分布图



图 10 实体单元离散时的 Von Mises 等效应力分布图

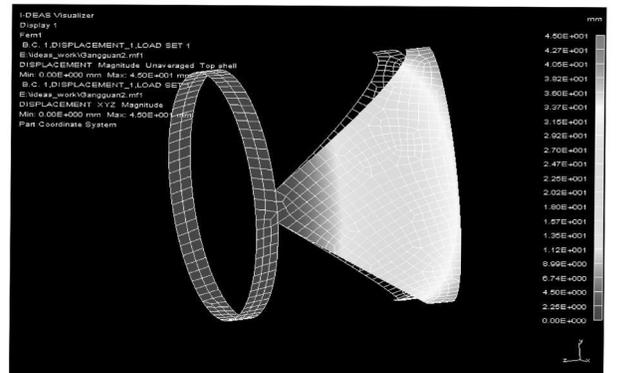


图 13 均布力作用时水平块的整体变形图

单元离散并作用集中力时的模型和计算结果图。图 13 到图 14 为进水接管水平块采用板单元离散并作用均布力时的模型和计算结果图。

从图 11 和图 14 的等效应力分布图可见,使水平块在进水端产生 34 mm 的水平位移是其根部应力高达 1 500 MPa 远远超材料的屈服极限而进入塑性变形。因此焊接后不采取退火等措施消除残余应力,则在水平块靠近进水阀一端将产生很大的残余应力,而使进水管不安全。

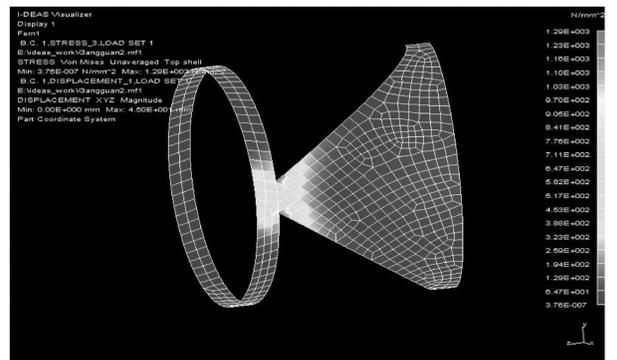


图 14 均布力作用时水平块的 Von Mises 等效应力分布图

### 3 强度校核及安全性评价

对于压力钢管,主要承受内水压力。明管段最小允许壁厚为:

$$\delta = \frac{PD_i}{2[\sigma]\Phi - P}$$

因为明管段设计壁厚为 36 mm,直径 1 200 mm,按 SD 144《水电厂压力钢管设计规范》,允许应力  $[\sigma]$  为 163 MPa 焊缝系数 0.85,考虑腐蚀及磨损裕度 2 mm,实际最小需要壁厚为  $\delta + 2$  mm。根据计算可知,明管段压力钢管实际最小需要壁厚为 27 mm。

而实际检查发现连接段最小壁厚 38.1 mm,和它连接的上游直管最小壁厚为 36.4 mm,连接缝最大错边量为 10 mm,连接处最小有效壁厚为 26.4 mm,不能满足要求,因此需要处理后才能保证运行的安全。

## 4 结论及建议

前面对焊接好后的 1 号机组球阀进水接管,在假设无初应力的条件下、水压力为 6 MPa 时,进行了整体有限元计算。计算结果表明,1 号机组球阀进水接管大部分区域内应力水平为 80 到 90 MPa 而 1 号机组球阀进水接管所用材料 16 MnR 的许用应力为 163 MPa 因此若 1 号机组球阀进水接管无初应力,则 1 号机组球阀进水接管是安全的。

然而,现场施工时,是将 1 号机组球阀进水接管

剖分为四部分,对水平两块施加推力使最外端产生了 34 mm 的水平位移。在不加热的情况下,有限元计算结果表明,该两块根部应力高达 1 500 MPa,因此,如果现场施工后不退火(即使在焊接时采取了预热措施),则会产生很大的残余应力,使 1 号机组球阀进水接管不安全。

1 号机组球阀进水接管最小需要壁厚为 27 mm,而连接处最小有效壁厚为 26.4 mm,不能满足要求,需要处理后才能保证运行的安全。

鉴于上述原因,建议:

① 钢管对接焊缝按 DL 5017《压力钢管制造安装及验收规范》要求,在安装时严禁强力拼装,这方面应加强监督,严格控制安装质量。

② 焊缝对接错边量严重超标的缺陷,应采取相应措施进行处理。

③ 在对 1 号机组球阀进水接管剖分部分水平两块现场施焊后必须进行退火处理,以消除根部残余应力,保证 1 号机组球阀进水接管的安全。

## 参考文献

- [1] SD 144—1985,水电站压力钢管设计规范[S].
  - [2] DL 5017—1993,压力钢管制造安装及验收规范[S].
- (收稿日期: 2009—02—11)

(上接第 72 页)主站完成考核、查询、统计等功能。

## 3 结论

从电力企业线路巡视业务的现状入手,分析了线路巡视信息化管理的需求,提出并实现了一种基于移动数据库技术的 GPS 电力线路巡视管理系统。系统运行效果表明以移动数据库技术结合移动终端与 GPS 定位技术的巡线管理系统能够适应标准化巡线管理的要求,能够极大提高巡线工作效率和电力企业的生产管理水平。

## 参考文献

- [1] 胡虚怀,郑若忠. 移动数据库及其关键技术[M]. 计算机系统应用, 2000.
- [2] 姚敏锋,张晶. 嵌入式移动数据库的应用研究. 电脑与信息技术[J], 2007, 15(5): 27—30.

- [3] 刘远东. 嵌入式移动数据库及其应用[J]. 深圳信息职业技术学院, 2003, (1): 31—34.
- [4] 林高德,周书民. 嵌入式移动数据库的关键技术[M]. 现代计算机, 2006.
- [5] 龚春红,金敏. 移动数据库关键技术的研究与分析[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(9): 1911—1915.
- [6] 黄聪明. Pocket PC 数据库应用程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [7] 涂小朋,汪林林. 分布式空间数据库中基于事务的客户端高速缓存技术研究[J]. 计算机科学, 2004.
- [8] 邹和东,邱吉福. 电力企业用电检查管理模式的研究与探讨[M]. 中国电力教育. 2007, 243—244.
- [9] 周毓林,宁杨,陆贵强,付林林. Windows CE .NET 内核定制及应用开发[M]. 电子工业出版社, 2005. 2.

作者简介:

熊 勇 (1974—),男,四川仁寿人,1998 年毕业于哈尔滨理工大学高电压技术及设备专业,工程师,从事安全生产技术管理工作。

(收稿日期: 2009—03—07)