

关于坝体廊道配筋的探讨

刘建明

(四川省水利水电勘测设计研究院,成都,610072)

摘要 对大河口坝体廊道配筋进行计算分析和论证,确定计算工况,并探讨了不配筋的原因。

关键词 大河口电站 坝体廊道 配筋 人工砂石骨料

1 引言

大河口电站坝体内部共设有三层主廊道,▽314m $3\text{m} \times 3.5\text{m}$ 的灌浆廊道;▽340m $2\text{m} \times 2.5\text{m}$ 的检查排水廊道;▽360m的检查排水廊道。为了坝体运行安全可靠,▽314m廊道做了平面有限元计算,长科院材料所做了三维光弹试验。▽340m和▽360m廊道因为水头不是很高,断面尺寸较小未做此类分析。空腹坝中前腿应力状态用弹性理论分析除坝踵处有局部拉应力外,其余部位在各种工况下都处于压应力状态。在这种情况下,对于坝内开孔,孔洞边缘离开坝面距离大于孔洞宽度的所谓小孔口情况,一般都作为平面问题处理,针对开孔后廊道周边的应力值,

在廊道顶、底板配置受拉钢筋,两边侧墙配置受压钢筋。

随着理论的发展,认识程度的提高,采用塑性理论及断裂力学对廊道的应力状态进行分析,认为廊道配筋可以不配或少配。为了节省投资加快施工进度,有必要对廊道配筋问题加以分析阐述。

2 理论分析

2.1 平面有限元计算和光弹试验分析

对于▽314m廊道笔者作了平面有限元分析计算,由于篇幅所限,没有附图。从计算成果分析,对于坝体闸墩剖面,在自重工况下,▽314m廊道顶板最大主拉应力 $\sigma_{1\text{max}} = 0.58\text{MPa}$,底板最大主拉应力值为 $\sigma_{1\text{max}} = 0.2$

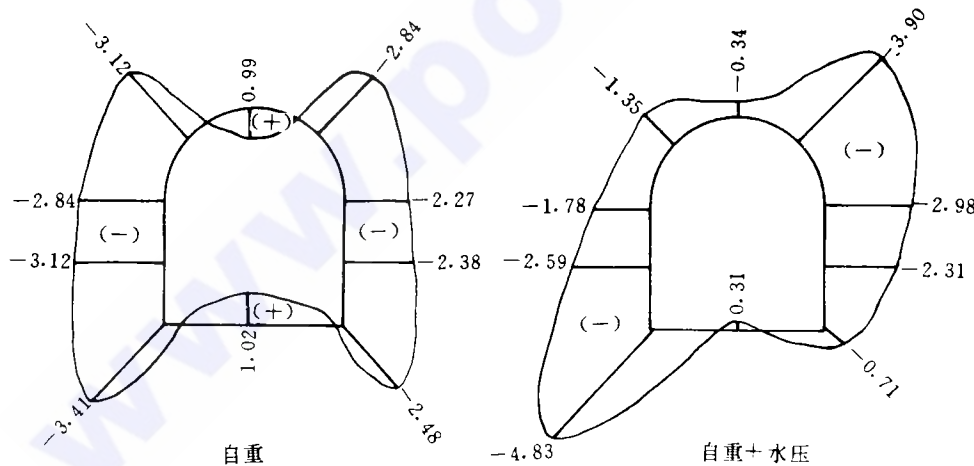


图1 闸墩断面▽314m廊道边界应力图(单位:MPa)

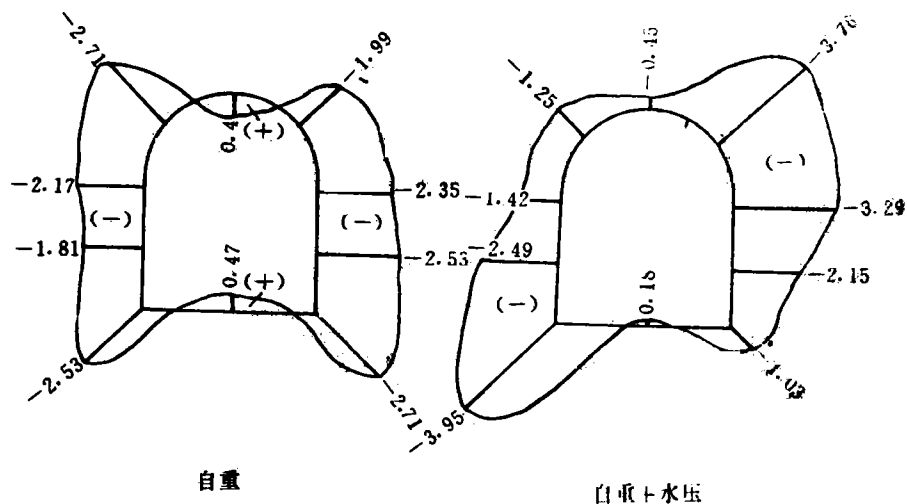


图2 溢流坝剖面▽314m廊道边界应力图(单位:MPa)

MPa, σ_2 均为压应力, 两侧边墙呈压应力状态。在自重+水压工况下, 廊道拱顶、底板的拉应力均转化为压应力。委托长科院材料所的三维光弹试验成果见图1和图2。在自重工况下, 顶拱和底板为拉应力区, 最大值分别为0.99MPa和1.02MPa, 两侧边墙均为压应力区, 角点呈现压应力集中现象。自重+水压工况, 拉应力有很大缓解, 底板中心有0.31MPa小范围的拉应力, 其余部分均为压应力区, 角点仍有压应力集中。对比平面有限元和光弹试验成果, 应力趋势基本相同, 只是应力数值不同, 但差别不大, 这主要是因为数学模型和物理模型模拟的手段和边界条件不同所致。▽340m和▽360m廊道没有做有限元分析和光弹试验, 由于这两个廊道尺寸小, 水头低, 其应力肯定小于▽314m廊道, 可以参考▽314m廊道的应力值。如果将其作为坝内开孔, 利用坝体平面有限元成果在▽340m和▽360m廊道形心点处的 σ_1 、 σ_2 通过查表计算孔口应力。在自重工况下顶板和底板拉应力值分别达到1.7MPa和0.82MPa, 应力值远大于▽314m廊道, 显然, 坝内开孔计算的应力值偏大。

从以上分析无论是按照平面有限元成果、光弹试验值还是坝内开孔计算值在自重工况下配筋量都是较大的。实际上大坝施工

期较长, 廊道所承受的荷载是缓慢施加的, 这样就使砼的应变能力远大于快速拉伸值; 另外由于坝体廊道计算, 采用的是弹性理论, 而弹性理论对孔洞应力分析是有局限性的, 产生的应力集中现象实际上是一种假象。当用塑性理论来分析时, 由于砼的塑性变形结构将有很好的顺从性, 受到极高应力那些截面或区段将“屈服”, 并将它们的一部分荷载转嫁到别的截面或区段上去, 因此考虑砼的塑性特性, 孔口的应力集中将会大大缓解。基于这两个原因, 将自重工况作为控制工况是偏于保守的, 宜采用自重+水压作为控制工况, 在这种工况下, 拉应力值很小, 均在砼的极限拉应力范围内, 勿需配筋。

2.2 人工砂石骨料砼性能

本工程采用石灰岩人工砂石骨料砼, 从委托长科院做的材料试验报告分析, R_{90} 150# 砼, 28d 轴拉强度达1.7MPa, 90d 达2.0MPa。其28d强度较规范值增加61.9%。 R_{28} 200# 砼, 28d 轴拉强度达到2.54MPa, 较规范值增加95%。允许抗拉强度150# 砼为0.64MPa, 200# 为0.958MPa, 显然人工砂石骨料砼较天然砂石骨料砼允许抗拉强度大。类比其它工程, 乌江渡水电站采用石灰岩人工砂石骨料拌制的砼, 抗拉强度比天然砂石骨料高, 在(100#~300#)范围内, 人工砂石

骨料砼要高 0.2~0.4MPa,比现行《水工钢筋混凝土结构设计规范》SDJ20-78 要高 0.5~0.75MPa,美国哈札公司认为采用人工砂石骨料拌制砼,允许抗拉应力可以用到 0.7~1.4MPa。显然人工砂石骨料的抗拉强度较高,有利于砼的抗裂。

砼的极限拉伸值 $\epsilon_p = (0.75 \sim 0.82) \times 10^{-4}$,达到设计要求,人工砂石骨料与水泥砂浆胶结较好可提高 ϵ_p 值。

砼的温度线膨胀系数 $\alpha = 7.29 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,较国内外有关工程要小,这有利于防止砼产生裂缝。

砼的干缩会产生应力而使砼表面开裂,在施工初期,影响很大。由于拌制砼中掺加了粉煤灰,据实验资料,可以有效地减小干缩,运行期的干缩应力,由于砼的徐变作用已大部份释放掉了。

从砼性能分析,人工砂石骨料砼具有抗拉强度高、收缩小,其抗裂性能好等特点。

2.3 温度应力

温度应力可分为施工期和运行期两种情况。施工期的温度应力主要是砼浇筑后的最高温升和孔口表面温度所产生的温度梯度产生的。这部分温度应力可以通过施工过程采取加强温控措施来解决,如冷却水管和掺粉煤灰等。据长科院材料所试验报告,当砼粉煤灰掺量 40%时,7d 水化热降低 27.2%,最高温度降低 5.8 $^\circ\text{C}$ 。可见掺加粉煤灰后,砼水化热温升有显著地降低,温度应力也将减小,砼本身具有一定的抗裂能力,如用配筋解决这部分应力,既不经济,作用也不大。只要在施工过程中搞好温控,加强养护,则由这部分温度应力引起的砼裂缝是可以得到控制的。

运行期间,坝体温度已达到稳定温度场,孔口温度应力将随气温和水温,呈周期性变化。但是廊道在坝内,据有关文献介绍,在距坝体表面 15m 深处仅反映年循环的 1%。温度应力在构件中分布是非线性的,当由于温度应力产生初始裂缝,应力迅速松弛并降低,

裂缝也就停止发展,不会产生贯穿性裂缝。另外徐变能使温度应力降低,特别是运行期,温度变化较慢时,徐变变形可抵消一部分温度变形,从而减小砼开裂可能性。

因此,对廊道而言,只要加强施工期和运行期的温控措施,不用配筋,砼也不会产生裂缝,既使有能裂缝也是表层的,决非贯穿性的。

2.4 采用预制砼模板

预制砼模板中的配筋是考虑吊装自重和顶层或侧墙流态砼的荷重。将来坝体与这部分预制模板共同作用,可以作为运行期间预料不到的不利因素的补偿和安全储备。

2.5 类比工程实例

随着水电站建设事业的发展,新理论和新工艺的出现及原型观测资料的分析整理,许多电站采用廊道不配筋方法,如安康、富春江等工程。据介绍富春江工程在 14 个坝段内将廊道分成长度相同的配筋和不配筋两段,埋设 8 组应变计进行观测比较。配筋和不配筋两段的应变过程曲线均处于受压状态,前者的压应变都小于后者,说明配筋对减少温降受拉作用不大,为廊道不配筋提供了有利的佐证。

3 结 语

以上分析表明,廊道计算控制工况应选用自重+水压工况,应力重分布很大,顶板和底板拉应力迅速减少。人工砂石骨料砼抗拉强度提高,抗裂性能较好。采用预制砼模板,将其作为运行期不利因素的安全补偿。根据已成功的经验,笔者认为,考虑到▽314m 廊道底板薄(只有 2m),距压力钢管较近(只有 4.5m),在▽314m 廊道作为结构需要在配筋上予以加强,▽340m 和▽360m 廊道可以不配筋。

对于廊道不配筋问题,尚处于摸索阶段,今后采用塑性理论或断裂力学作为廊道配筋的依据是一种发展方向。(收稿日期:19950123)