

高水头条件下导流洞 封堵期结构安全性研究

李太成¹, 魏志远², 陈世全³

(1. 中国水电工程顾问集团公司, 北京 100120;

2. 水电水利规划设计总院, 北京 100120;

3. 中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院, 云南 昆明 650051)

摘要: 高水头条件下导流洞封堵期结构安全性是近年来新建高坝大库蓄水中遇到的一个较为突出的新问题, 直接关系到导流洞封堵的成败, 并影响电站按期投产发电。本文提出导流洞封堵期结构设计准则和要求用于指导导流洞结构设计, 以供商榷。

关键词: 高坝大库; 水电站; 导流洞; 封堵; 结构安全。

中图分类号: TV551 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-9913(2012)S2-0170-04

Study on Structure Safety of Diversion Tunnel Plugging Period

LI Tai-cheng¹, WEI Zhi-yuan², CHEN Shi-quan³

(1. Hydrochina Corporation, Beijing 100120, China;

2. Hydropower and Water Resources Planning & Design General Institute, Beijing 100120, China;

3. Hydrochina Kunming Engineering Corporation, Kunming 650051, China)

Abstract: Under the condition of high water head plug of diversion tunnel structure safety in recent years, new high dam impoundment in the face of a more prominent problem, directly related to the success or failure of diversion tunnel plugging, and the influence of station on schedule put into power generation. This paper presents diversion tunnel plugging structure design criteria and requirements for diversion tunnel structure design, in order to offer deliberate.

Key words: high dam & large reservoir; diversion tunnel; plugging; structure safety; ion tunnel; plugging; structure safety.

1 概述

近十年来, 我国已建、在建和规划了一批高坝大库水电站, 其工程规模和技术难度位居世界前列, 如已建233m高的水布垭面板堆石坝, 在建305m高的锦屏一级拱坝等。高坝大库建设带来了一系列新的技术难题和挑战, 高水头条件下导流洞封堵施工期结构安全性就是近

年来在新建高坝大库水电站初期蓄水中遇到的一个较为突出的新问题, 也是一个处理不好就会存在重大安全隐患的问题。

导流洞下闸方式和下闸封堵涉及进口段的安全性, 以前建设的水电工程坝高和水头低, 此问题并不突出, 高坝大库水电站导流洞下闸后, 水库水位快速上升, 由于永久堵头施工期较长, 导流洞进口段(本文指堵头前所有洞段,

* 收稿日期: 2012-09-30

作者简介: 李太成(1970-), 男, 河南潢川人, 硕士, 教授级高工, 主要从事水电工程安全鉴定、咨询、审查和验收工作。

如图1所示)将直接承受快速上升的外水压力,其结构安全直接关系到封堵施工的成败及人员安全,从而影响电站按期投产发电,甚至影响整个电站建设的成败。乌江构皮滩、北盘江光照、金沙江金安桥、吉林双沟等水电站蓄水过程中不同程度受到此问题的影响。

导流洞进口段结构安全性涉及的主要问

题有:确保导流洞进口段在堵头施工期洞内衬砌结构稳定或采取措施确保洞内堵头段施工安全,减少封堵施工期渗漏量等。这些问题归结到需要一个判断导流洞封堵施工期结构安全的设计要求和准则,本文旨在对此进行研究,为高坝大库下闸蓄水设计提供参考。

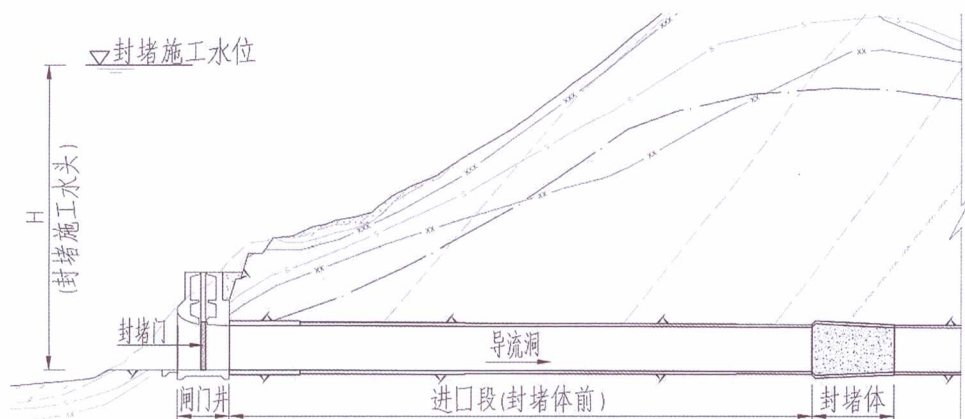


图1 导流洞封堵体位置示意图

2 导流洞进口段结构稳定设计

2.1 存在的问题

(1) 外水荷载难以确定

导流洞进口段距离上游水库较近,甚至部分明洞段直接位于库内,衬砌外表面承受的外水压力往往为其衬砌结构设计与控制工况。外水压力根据其与水库距离及围岩透水性而定。但由于地质现象复杂多变,节理裂隙分布复杂,即使相邻洞段其实际承受的外水压力也大为不同。现行《水工隧洞设计规范DL/T5195-2004》关于外水压力折减系数规定为:混凝土衬砌隧洞,可根据围岩地下水活动情况,结合排水措施,选用折减系数,分为0~0.20、0.10~0.40、0.25~0.60、0.40~0.80、0.65~1.0五个档次。但由于同一档次内差距较大,再加上个体对地质现象定性描述的认知不同,设计人员在利用该表时往往较难准确选用,在蓄水安全鉴定及验收过程中,亦往往成为各方争论焦点。

(2) 设计计算方法不统一

当前国内导流洞设计较为流行的方法为工

程类比法、结构力学法及有限元法。

《水工隧洞设计规范》(DL/T55195-2004)9.0.1规定:“……三种设计状况均应按承载能力极限状态设计。”该规定属于结构力学法范畴。

《水工隧洞设计规范》(DL/T55195-2004)11.3.1规定:“对于直径(宽度)不小于10m的1级隧洞和高压隧洞,宜采用有限元法计算”。该规定属于有限元法范畴。有限元进行隧洞结构设计有正反两种方法:

① 正向设计:给定外水压力等边界条件,从而通过建模分析得到衬砌内部应力图形,再根据应力图形得到衬砌相应部位总拉力(部分软件可直接读取截面总拉力),折算成相应钢筋面积(具体见《水工混凝土结构设计规范》附录H)。该方法存在的问题主要有:建模时未把钢筋建入,计算配筋与实际配筋有一定差距,因此计算的结构受力与实际不符。

② 反向设计:根据假定配筋情况,外水压力等边界条件等建立有限元模型,分析钢筋、混凝土应力是否超过其设计值,裂缝、变形等是否超过规范要求。该方法虽然比正向设计更

为合理,但计算的成功与否往往跟假定的配筋情况有关,往往须反复调整建模,而且建模工作量较大。

2.2 解决的方法

(1) 外水荷载

鉴于导流洞封堵对整个电站建设的重要性,必须确保封堵一次成功。在作导流洞封堵期工况设计时,外水压力折减系数不宜太低,作如下建议:

① 明洞段:外水折减系数取1.0;

② 渣体回填段:该段虽上部有渣体覆盖,但回填渣体透水性较强,外水折减系数取1.0,渣体按浮容重计入;

③ 近库段:该洞段紧接水库,上部有岩体覆盖,外水折减系数根据围岩透水情况取为0.6、0.8、1.0三个等级,不能因为围岩整体稳定性较好而采取较低外水折减系数,因为岩石裂隙发展情况往往不能彻底了解清楚。

④ 后部洞段:近库段往后至封堵体前端洞段,根据围岩情况及封堵体位置线性折减,至封堵体前端可取外水折减系数为0.3~0.4。

(2) 设计计算方法

对于高水头导流洞建议采用两阶段设计方法。

第一阶段(设计阶段):根据工程类比及结构力学法设计得到初步配筋参数。该阶段往往配筋量极大也难以满足外水折减系数0.6以上的荷载标准,故须进入第二阶段。

第二阶段(校核阶段):根据第一阶段得到的配筋参数,采用0.6、0.8、1.0等较高外水折减系数进行有限元反向建模分析校核衬砌应力、挠度及裂缝等是否满足规范要求。

3 导流洞封堵期渗漏量

3.1 存在的问题

从大量已封堵导流洞工程来看,渗漏量大小往往不直接影响结构安全性,只是排水代价大小问题。渗漏量大则采取堵漏措施,渗漏量小则无须堵漏,直接抽排。但不可忽视的是当面临过大渗漏量时,堵漏代价往往极大,甚至对封堵施工安全带来不可预期的风险。所以实

际施工中希望控制其渗漏量停留在一个可以抽排的水平。

3.2 解决的方法

渗漏来源有:封堵门不密实或破坏、衬砌排水孔及灌浆孔、衬砌裂缝及衬砌破坏。

(1) 封堵门不密实或破坏

解决该问题除要求参建单位在施工阶段严格控制施工质量标准外,亦要求设计人员对工程管理方面的风险有足够的意识,例如工期的不可精确预测性,虽封堵门设计为枯期封堵挡水水平,但由于工期的变化到汛期封堵,上游库水迅速达到正常蓄水位,则闸门要么重新加固影响工期,要么考虑闸门超载能力强行下闸,带来极大风险。因此,建议封堵门设计时直接按正常蓄水位设计,以规避工期变化的风险。

(2) 衬砌排水孔及灌浆孔

从近期下闸蓄水的几个大型水电工程来看,封堵体前端排水孔及灌浆孔往往成为封堵期渗漏的主要来源。

衬砌排水孔的设计理论有二:一方面可以降低施工期风险,二方面可以降低封堵期外水压力。若基于第一方面的考虑,则衬砌施工完毕,排水孔应封堵。若基于第二方面的考虑,则排水孔应设置在围岩条件较差位置,尽量避免系统设置导致后期封堵抽排工作量巨大。排水孔可采用浅层排水孔,即打穿混凝土衬砌即可,不深入固结灌浆圈,降低外水内渗风险。

灌浆孔则应在施工时严格按设计要求封堵密实。

(3) 衬砌裂缝及衬砌破坏

若严格按照本文第二章的结构设计方法,当出现规范允许的裂缝宽度时,应可以抽排干净。若由于其他原因出现衬砌破坏的情况,则只能在确保人员安全的情况下采取堵漏措施。

4 高水头导流洞设计

岩土科学是一门经验学科,诸多计算理论来自于既定的假设,一旦实际条件与假设不符,则无法确保整个后续计算的准确性,所以采取一些非定量计算的工程措施是必要的,如

抗震设计一样,抗震措施往往比抗震计算更为有用。

(1) 联合承载圈

当面对超高水头导流洞设计时,除满足常规计算要求外,可对导流洞衬砌外围一定深度进行防渗固结灌浆(采取较大灌浆压力),并将一次支护的锚杆深入混凝土衬砌内部并与受力钢筋有效连接,以期混凝土衬砌和外部固结岩石圈形成联合受力圈,共同承担荷载,并通过防渗固结圈减少外水内渗,确保导流洞在高外水压力条件下的安全稳定性。

(2) 外水荷载确定方法

对于外水荷载的确定除规范规定的地质描述方法外,尚可引入现场试验法、模型试验法、渗流数值分析方法及水压力计算解析法等。

(3) 临时堵头的设置

随着我国经济水平的不断发展,安全已提到高于经济的地位。对于在下闸蓄水前,不能确定导流洞进口段衬砌结构安全性的情况,可采用在永久堵头前设置临时堵头,来确保其后洞段施工期的安全。由于临时堵头可连续浇筑、快速施工,可在较短的时间内具备挡水能力的特点,受到诸多工程采用。如金沙江金安桥水电站,由于右岸导流洞进口地质条件较差,施工中曾发生塌方,设置15m长临时堵头,左岸导流洞下闸后漏水较大也增设了临时堵头,保证了封堵施工安全和电站顺利投产发电。金沙江阿海水电站1号、2号导流洞均设置20m长临时堵头。由此,鉴于岩土科学的复杂性、工程建设管理的不可预见性,建议高水头条件下导流洞封堵施工尽可能设置临时堵头,临时堵头设计挡水水平按其最大工作水头考虑。尤其是进口段围岩体单薄、围岩透水性较强、存在不良地质条件、施工期已经发生塌方的导流洞工程,若复核安全性不满足要求,或采取适当加固措施仍不满足要求时,需考虑设

置临时堵头。

(4) 导流洞设计理念

导流洞使用年限不长,按临时建筑物设计,设计时按承载能力极限状态设计,不考虑裂缝宽度等正常使用极限状态,为避免高水头导流洞封堵期洞内渗水等不利因素,对高坝大库工程,封堵期工况往往是导流洞结构设计的控制工况,导流洞进口段围岩支护和衬砌设计、灌浆设计、防排水设计等需适应蓄水期高水头挡水条件。由于导流洞造价较高,又基于其临时性建筑物的认识,目前部分建设单位对导流洞结构安全重视程度不够,甚至大量优化一、二次支护措施,该指导思想不利于导流洞封堵期结构安全。

近几年国内进入大型水电工程蓄水发电的高峰期,除大量封堵安全措施可供收集外,在尽可能的情况下如能对导流洞进口段衬砌及围岩应力应变进行监测分析并反演将有助于水工隧洞工程学科的进展。

5 结语

鉴于导流洞封堵的重要性并考虑工程建设的工期风险等因素,导流洞进口段及封堵闸门等结构设计所采用的外水荷载、设计水头等应采用偏于安全的设计参数。导流洞进口段围岩支护和衬砌设计、灌浆设计、防排水设计等需适应蓄水期高水头挡水条件。

由于岩土科学的复杂性,除应对封堵期导流洞进口段进行必要的数值计算外,高水头导流洞可在永久堵头前端设置临时堵头等附加安全措施以确保封堵施工安全。高水头导流洞的设计不仅需要定量计算,还须采用一系列非定量计算的工程措施作为安全储备以确保导流洞在各种工况下的运行安全。

参考文献:

- [1] DL/T55195-2004,水工隧洞设计规范[S].