

(3)

15-19

第15卷第2期

水利水电科技进步

1995年4月

抽水蓄能电站的建筑物

——'94 抽水蓄能工程国际学术讨论会论文综述(三)

陆晓敏 黄文雄

(河海大学工程力学系 南京 210098)

TV743

摘要 本文就'94 抽水蓄能工程国际学术讨论会有关抽水蓄能电站建筑物部分论文进行综述。文章按建筑物类型将内容分为上下库、引水系统(压力管道)和地下厂房三部分。

关键词 抽水蓄能 水电站 建筑物 学术会议 综述

抽水蓄能电站得以兴起并迅速发展,有两个方面的原因:一是电力系统要安全、经济地运行,迫切需要抽水蓄能电站来承担调峰填谷的重要任务;二是水力机械和水电工程技术的发展使建设高水头、高效益的抽水蓄能电站成为可能。

60年代,国际上开始大量兴建抽水蓄能电站。我国虽起步较晚,但近一二十年来,在抽水蓄能技术研究和抽水蓄能电站建设方面进展很快,已建和在建的较大的抽水蓄能电站有广州、十三陵和天荒坪抽水蓄能电站等。'94 抽水蓄能工程国际学术讨论会有关电站建筑物方面论文有10篇,内容涉及上、下水库的设计,压力管道和地下厂房的设计和结构分析等。本文分上下水库、压力管道和地下厂房三个方面对有关论文作一综述。

1 上、下水库

1.1 水库组成

抽水蓄能电站为了实现抽水发电循环,必须有两个水库:上水库和下水库。上、下水库应尽可能利用天然湖泊或已建成的水

库。如十三陵抽水蓄能电站^[1]的下水库就利用了已建的十三陵水库。由于受地形的限制,仅有很少的情况上水库能利用天然湖泊或已建水库(如我国台湾明潭抽水蓄能电站^[2]),大部分情况上水库是在高处洼地通过开挖和筑坝形成。十三陵和天荒坪^[3]抽水蓄能电站的上水库都属于这种情况。

上水库一般很少有天然水补给,其中的水都是消耗电能后抽上来用于发电的,因此需采取防渗措施防止库水的流失。从保证上水库坝体和岸坡的稳定及地下厂房等周围建筑的安全角度看,上水库的防渗措施也是非常重要的。而下水库通常有天然水补给,或利用已建的水库,一般不需作特殊的防渗处理。

1.2 防渗措施

上水库通常采用全库防渗。挡水坝则较多选用钢筋混凝土面板坝。文献[1]介绍了十三陵抽水蓄能电站的上水库防渗措施。全库和堆石坝采用钢筋混凝土面板防渗。文章认为,虽然沥青混凝土面板有诸多优点,如材料呈粘弹性,能较好地适应地基的变形,接

头处理方便,且易修补等,但是施工复杂,工期长,国内进行大面积施工还缺少经验。而钢筋混凝土面板施工相对简单,工期短,但由于其刚性大,不易适应地基的变形,接头防渗处理复杂。结合工程具体情况,经综合评定,十三陵电站上库采用钢筋混凝土面板防渗,面板下通过设置垫层来增加其适应基础变形的能力。

正在兴建的天荒坪抽水蓄能电站是我国目前最大的一个抽水蓄能电站,电站上水库库底和大部分岸坡都被不同深度的土层和强风化岩层所覆盖,当库区水位频繁快速升降时,土坡稳定受到严重威胁,并且库区原地下水位低于库中最高水位。上水库充水后,渗漏将不可避免^[2]。考虑到这些情况,上水库需采用全库护面防渗。上库蓄水后,土基和坝体将发生较大的不均匀变形。为解决这一问题,经过论证,采用沥青混凝土作护面。

1.3 排水措施

尽管库区作了防渗处理,但还会因诸多原因(如护面开裂)使少量水渗入护面。这些水如不能尽快排走,在水库水位急剧下降过程中,有可能由于水压力作用使护面破坏或浮起。

十三陵电站上水库混凝土面板后的水头如果高出库中水位1m,面板就有被托起的可能,所以在面板下和坝底部设置了排水层,其排水能力大于渗入的量。为了能更好、更快地排走渗水,还在坝底和库底排水层中埋置直径为15cm的排水管,以便形成快速排水通道^[1]。文献[3]介绍了为天荒坪电站上水库精心设计的一套排水系统。该系统包括护面下设置排水层,库底周围设置排水管和排水廊道,主坝底部埋设排水主管,主坝下游坝趾设置集水井等。

1.4 小结

为了能使库区护面有效地防渗,有关护面在周期荷载和周期变温作用下的特性,以

及如何使护面更好地适应基础变形,还可作进一步研究。对已建工程运行情况进行观测、分析、总结极为重要,能为后继工程提供经验和参考。

2 压力管道

2.1 结构形式

抽水蓄能电站经常采用地下压力管道引水。早期压力管道常用钢板衬砌,目前都采用钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土衬砌。采用钢筋混凝土衬砌的压力管道,衬砌不再作为承担荷载的主体,荷载主要由围岩承担。为了能有效地防渗,确保厂房的安全,进入厂房段的压力管道还须用钢板衬砌。

抽水蓄能电站的水头一般都较高,管线较长,故常采用岔管结构实现一管多机供水。岔管是压力管道的一个重要部分,其结构形式的不同,不仅影响自身的承载能力,而且还影响流态。故此次会议有多篇论文讨论了岔管。

2.2 覆盖厚度要求

由于围岩是主要的承载体,所以压力管道要有足够的岩体覆盖厚度。广州抽水蓄能电站在选定压力管道埋置深度时,使用了上抬理论和最小主应力准则^[4];天荒坪抽水蓄能电站在确定岔管位置时,使用了挪威准则和最小主应力准则^[5]。在山坡较陡时,上抬理论不安全,不宜采用。最小主应力准则是指管道所处位置最小主地应力要大于管中的内水压力。如用有限元法分析地应力,此准则也叫有限元准则。在确定岩体覆盖厚度时,使用最小主应力准则较为可靠。在地形比较复杂,或地质条件较差时,需进行地应力现场量测。天荒坪抽水蓄能电站岔管部位的现场压水试验结果表明,岔管位置选择是合适的,不会产生水力劈裂^[3]。

2.3 荷载及结构分析

压力管道主要荷载有内水压力和外水压

力。结构分析大多采用有限元法。

文献[6]采用三维线性有限元法,分析了天荒坪抽水蓄能电站地下Y型钢筋混凝土衬砌岔管在内、外压力作用下的性态;文献[4]介绍了广州抽水蓄能电站地下Y型钢筋混凝土衬砌岔管在内、外水压力作用下,二维和三维线性有限元计算成果;文献[7]研究了一种新型隔壁式钢筋混凝土衬砌岔管。

这些研究表明,在高水头内压作用下,衬砌将全面开裂,内水压力主要由围岩承担,衬砌不可能有效地防渗,其主要作用只能是平整洞壁,减小糙率,降低水头损失。故从承担内压角度考虑,衬砌不必做得太厚。围岩则必须坚硬完整,以能承受大部分内水压力。

在引水系统放空检修时,衬砌和围岩将受到外水压力的作用;同样在施工期灌浆时,衬砌也将受到外压的作用。外压分析较为复杂,目前还没有统一的观点。

有限元分析结果表明,减小围岩的渗透系数,能减小衬砌中的应力^[6]。现代研究表明,岩体渗流主要是裂隙渗流,围岩灌浆能显著减少裂隙渗流,可见对围岩进行防渗灌浆处理能减小衬砌承受的外压。

文献[7]在分析外压时,经验性地假设了三种模型。模型Ⅰ假设衬砌单独承受100m水头的外压,此模型能分析衬砌的承载能力,为灌浆压力提供参考数据。结果表明,即使在100m水头的外压作用下,衬砌中就产生了较大的压应力。模型Ⅱ假设衬砌和与衬砌具有相同厚度(文献[4]取两倍)的围岩共同承担外水压力。此模型的依据是,衬砌和围岩通过锚杆和灌浆可以形成一个复合圈,共同抵抗外压,关键是如何确定岩石圈的厚度。计算结果表明,增加抗外压圈的厚度,能显著减小衬砌中的应力,即提高了衬砌抗外压的能力。模型Ⅲ假设衬砌和围岩只通过锚杆连接,外压直接作用在衬砌上。此模型的目的主要想了解衬砌和围岩有裂缝时锚杆的

作用。计算结果与模型Ⅰ比较发现,衬砌中的应力略有减少,可见锚杆的作用应该是使衬砌和围岩形成一个整体,共同承担外水压力。从对已建的广州抽水蓄能电站压力管道运行情况的监测结果来看,模型Ⅰ是保守的^[6],另一方面也可以说明打锚杆和灌浆等工程措施对提高衬砌抗外压能力的作用。

将隔壁式钢筋混凝土岔管与普通Y型岔管进行了比较可发现,隔壁式岔管比普通Y型岔管有较强的抗内、外压力的能力,特别是抗外压的能力^[7]。这是因为隔壁式岔管内有隔壁支承,分岔处无缺损,仍能保持圆形断面。可见对岔管的形式值得研究。

在高水头内压作用下,衬砌将开裂,非线性分析能更好地反映衬砌和围岩的工作状态。对隔壁式岔管进行三维非线性有限元计算的结果表明,衬砌开裂后,环向应力基本上全部释放,围岩环向应力有所增加^[7]。尽管衬砌开裂,但由于围岩的约束,衬砌中钢筋应力并不很高。故在衬砌中不必放置过多的钢筋,其作用主要是限制裂缝的宽度,防止集中性裂缝的发生。

2.4 小 结

在具有一定深度的新鲜完整岩体中,以岩体为主要承载体来设计压力管道是完全可行的。已建工程的运行情况也证明了这一点^[1]。衬砌裂缝的宽度,通过一些工程措施,也可以得到控制,如灌浆处理,能增加衬砌中的预应力,从而减小裂缝的宽度。如遇压力管道必须通过较大的断层带,特别是地震可能引起错位变形的情况,衬砌结构形式如何适应变形及止水措施还需进一步研究。

3 地下厂房

3.1 厂房形式及地质要求

抽水蓄能电站中厂房形式常见的有半地下式厂房和地下式厂房两种。这次会议专门讨论厂房结构的文章有两篇。文献[9]讨论

了奥地利 Häusling 抽水蓄能电站半地下式厂房的静力和动力特性;文献[10]介绍了中国十三陵抽水蓄能电站地下厂房洞室群围岩加固稳定的措施。

为了确保厂房围岩的稳定,对厂房位置地质要求较高,尤其对地下厂房。厂房应争取设置在岩性较好的地区,应尽量不与大断层和大的构造面相交,如果实在难以避免,洞室长轴与软弱面夹角应尽可能大。对于较深的地下洞室,地应力往往较大,其对洞壁岩体的稳定也有很大的影响,应尽可能避免最大主应力方向与洞室长轴方向一致。

3.2 厂房加固稳定措施

对于地下厂房,主厂房、主变室及其它洞室形成地下洞室群,洞群的围岩稳定是一个非常重要的问题。洞室的主要荷载是地应力。由于开挖,洞周地应力重新分布,应力的释放和集中,可导致围岩屈服和破坏。

文献[10]较全面地介绍了十三陵抽水蓄能电站地下厂房围岩加固的措施。主厂房和主变室的洞顶和边墙都用系统砂浆锚杆和钢丝网喷混凝土加固。由于洞顶岩体稳定性差,故再加钢筋混凝土衬砌。主厂房上下游边墙分别在54m、45m和36m三个不同高度增加系统预应力锚索,进一步加固边墙。边墙断层出露部位再加钢筋混凝土锚板,并增加预应力锚索。现场的观测发现,加固后围岩是趋于稳定的。

3.3 洞室群围岩的稳定性分析

洞室群的围岩稳定分析是目前地下工程中的一个重要研究课题。遗憾的是本会议未收到这方面的论文。保证围岩的稳定性是首要的,恰当的围岩加固措施能起到事半功倍的作用,为工程建设节省大量投资。采用非线性有限元数值分析和仿真模拟能够为工程设计提供参考性意见。但数值分析结果的准确性在很大程度上依赖于对围岩地质情况的了解程度、计算模型的合理性以及计算参数

选取是否恰当。对已建工程的长期观测是一个重要环节。观测资料不仅可用于评定加固措施的效果和及时发现工程问题,还能检验计算结果的正确性和校正计算模型。

3.4 小结

在抽水蓄能电站的各种建筑结构中,地下厂房的设计和施工最为复杂。充分利用数值分析手段为设计服务,能提高设计的质量,并使设计更多地包含理性因素,而不仅仅依赖于经验。

参考文献

- 1 Shi Lishan. The design characteristics of upper reservoirs of pumped storage plants. In: Proceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjin. 388~362
- 2 Hsieh. Chi-Shou. High pressure penstocks of Mingtan Pumped Storage Project in Taiwan. In: Proceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjin. 317~328
- 3 Xiao Gougyuan. Design features of hydraulic structure of Tiahuangping Pumped Storage Project. In: Proceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjin. 363~370
- 4 Ye Jishen. Some of problems in design of high pressure reinforced concrete of Guangzhou Pumped Storage Project. In: Proceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjin. 371~385
- 5 Zhang Xiuli et al. The design characteristics of water conveyance system of Tianhuangping Pumped Storage Project. In: Proceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjin. 385~394
- 6 Huang Wenxiong et al. Three dimensional finite element analysis on underground bifurcation of Tianhuangping Pumped Storage Plant. In: Pro-

- ceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjin. 329~334
- 7 Lu Xiaomin, Liu Qizho. A research on a new type underground reinforced concrete Partition Manifold (PM) by structural analysis. In: Proceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjin. 344~351
 - 8 Lu Zhaokang, Lu Hongce. The instrumentation data and the FEM analysis of penstock manifold. In: Proceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjin. 352~357
 - 9 Kummerer Jürgen. Shaft power station—static and dynamic principle. In: Proceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjin. 335~343
 - 10 Zhu Erroung. Stability evaluation and support measure of power house surrounding rock for Shisanling Pumped Storage Plant. In: Proceedings of International Symposium on Pumped Storage Development '94, Sept. 1994, Nanjing. 395~402
- (收稿日期: 1994-12-01)

• 新书介绍 •

《中国土木工程学会第七届土力学及基础工程学术会议论文集》——中国土木工程学会第七届土力学及基础工程学术会议论文集/本书编委会编。——北京: 中国建筑工业出版社, 1994, 10

1994年10月中国土木工程学会第七届土力学及基础工程学术会议在西安召开。本论文集共选编6篇综合报告和134篇论文。论文共分5个主题: ①土的基本性质和测试技术32篇, 包括室内试验和模型试验, 原状土取样技术和原位测试, 土的本构模型和其它理论研究等; ②区域性土18篇, 包括黄土、红粘土、膨胀土等; ③浅基础及深基础34篇, 包括浅基础承载力理论研究、基础结构型式研究、机器基础; 单桩和群桩基础的作用性状和承载力、动力测试理论和方法、桩型和成桩技术以及模型试验; ④土方构筑物和地下岩土工程17篇, 包括土坝、路堤、深基开挖和挡土结构、隧道、道路、地下管线工程等; ⑤地基处理22篇, 包括设计方法和施工经验、质量检验、加固技术的新发展、复合地基理论等; ⑥自然灾害和环境岩土工程11篇, 包括滑坡、地面沉降、地震、海洋岩土工程, 与环境有关的岩土工程问题等。这些论文基本上反映了上届大会以来我国土力学与基础工程方面的动态及主要成就。

《第五届全国CAD/CAM学术会议论文集》——第五届全国CAD/CAM学术会议论文集/何成武、程景云等编。——北京: 电子工业出版社, 1993, 10

本文集收编了400余位作者的论文204篇, 集中反映了1991~1993年期间, 我国CAD/CAM研究、开发、应用等所取得的最新进展。全书分为两部分: 第一部分是关于CAD/CAM的一般方法与系统, 包括智能CAD、计算机图形学(图形理论和技术)、计算机图形学(图形生成和应用)、人机交互、图像处理、多媒体与图视化技术、工程数据库; 第二部分是CAD/CAM技术在各行各业中的应用研究, 包括: 电子电路CAD/CAM、机械CAD/CAM、建筑与轻工CAD/CAM、交通CAD/CAM。本书适合广大CAD/CAM研究、开发、应用人员阅读参考。

(余清芬 供稿)