

抽水蓄能电站的技术分析研究

陈伟杰

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

摘要：众所周知，抽水蓄能电站是一种利用两个水库之间的高低水位差进行电能转换的储能技术。本文从抽水蓄能电站建设的必要性入手，分析了抽水蓄能电站关键技术，涉及渗控工程施工技术、地下洞室群施工技术、长斜井施工技术、地下厂房施工技术等方面，并针对机电安装调试技术进行了研究，旨在为相关领域的研究和实践提供参考。

关键词：抽水蓄能；电站；技术；分析

引言

随着全球能源结构的调整和电力需求的不断增长，储能技术在电力系统中的重要性日益凸显。抽水蓄能电站作为一种成熟的储能技术，具有运行成本低、储电能力强、功能齐全、安全性高、生态环保等优势，在能源转型和电力系统调整中发挥着不可替代的作用。因此，深入探讨其在电力系统中的应用优势和相关技术基于这样的现实意义。

1 抽水蓄能电站建设的必要性

抽水蓄能电站建设的必要性在于它们在现代电力系统中所扮演的至关重要角色，随着电力需求的不断增长和能源结构的转变，抽水蓄能电站作为一种高效的储能技术，对于电力系统的稳定性、灵活性和可持续性发展具有重要意义。第一，电力生产、输送和使用是同时发生的，但电力负荷的需求却瞬息万变。一天之内，白天和前半夜的电力需求较高，形成负荷高峰；而下半夜则电力需求大幅下跌，形成负荷低谷。抽水蓄能电站正是为了解决这种电网高峰、低谷之间供需矛盾而产生的，它可以在负荷低谷时，利用多余的电能将水抽至上水库，将电能转化为水的势能储存起来；在负荷高峰时，再放水至下水库发电，将水的势能重新转化为电能送回电网^[1]。这种功能使抽水蓄能电站成为电力系统中不可或缺的调峰电源。第二，抽水蓄能电站具有调频、调相的能力，可以稳定电力系统的周波和电压，当电力系统中的电压或频率出现波动时，抽水蓄能电站可以迅速调整其发电或抽水功率，以维持电力系统的稳定。此外，抽水蓄能电站还可以作为事故备用电源，在电网出现故障时迅速提供电力支持，确保电力系统的连续供电。第三，随着可再生能源如风电、太阳能等的大规模发展，其固有的间歇性和波动性给电力系统的稳定运行带来了挑战。抽水蓄能电站可以作为可再生能源的储能设施，

将可再生能源在发电高峰时产生的多余电能储存起来，在发电低谷时释放，从而平抑可再生能源的波动，提高其在电力系统中的消纳能力。

2 抽水蓄能电站关键技术

2.1 渗控工程施工技术

抽水蓄能电站的上水库，往往选址在山峰的上部，这些区域通常是通过沟谷或小盆地的开挖填围而成，这些地方的地质条件往往较为复杂，且缺乏天然径流的补给，因此，从下水库抽上来的水资源显得尤为珍贵。在这样的背景下，渗控工程的重要性便凸显出来。第一，关于渗控方式的选择，一般可以分为全库防渗、局部防渗和不设防渗三种：在选择渗控方式时，需要综合考虑地质条件、水库规模、运行需求以及经济成本等多方面的因素。全库防渗通常适用于地质条件较差、对水库渗漏要求较高的情况；局部防渗则适用于局部地质条件较好、可以通过局部处理达到防渗要求的情况；而不设防渗则通常是在地质条件极好、渗漏不会对水库运行产生显著影响的情况下采用。第二，在库底黏土铺盖填筑施工中，还需要解决一系列技术难题，由于库底面积较大，施工需要分期分区进行。同时，进料布料、组合碾压、纵横接缝以及库岸接头等施工环节都需要精心设计和严格控制。这些技术难题的解决，不仅考验着施工队伍的技术水平，也关系到整个水库的防渗效果和运行安全。第三，沥青混凝土施工技术是另一种常用的防渗手段，沥青混凝土面板具有防渗性能好、适应变形能力强、可快速修补等优点。但是，这种材料对沥青和骨料的要求较高，施工复杂且造价相对较高。在施工过程中，需要严格控制沥青和骨料的质量，以及混合料的配比和施工工艺，确保沥青混凝土面板的质量和防渗效果。第四，陡边坡混凝土面板施工技术也是渗控工程中的重要技术，这种技术相对成熟，施工速度快且效果

好。在陡边坡上施工混凝土面板时,需要采取一系列措施来确保施工安全和面板质量。例如,需要合理设计施工支架和模板系统,以及采取有效的排水和防护措施等。

2.2 地下洞室群施工技术

地下洞室群由于结构复杂,其内部风流场通常呈现出多变性,为了保障施工过程中的通风排烟效果,必须充分考虑洞室群的布局特点和施工需求。在洞室的顶部、中部和底部,通常设有永久隧洞或施工辅助洞室,这些洞室不仅为各层提供了施工通道,同时也是施工期通风排烟的主要通道。为了确保洞内外气体交换的顺畅,各层洞室应尽量与外界直接沟通,通过扩大洞内外气体交换断面,减少废气在洞内的循环。在施工初期,当中小型洞室尚未贯通时,可以在洞口布置风机,通过向洞内压风或抽排的方式,达到排烟除尘的目的。此时,风机的布置和功率选择应根据洞室的大小、形状和通风需求进行合理确定。然而,随着施工的深入,各洞室之间逐渐相互贯通,洞内的风流场也开始变得复杂。这时,仅仅依靠简单的风机布置已无法满足通风排烟的需求^[2]。因此,需要结合各洞口的气压,对洞内的风流场进行模拟演算,以确定最佳的通风方案,通过模拟演算,可以预测出不同通风方案下洞内的风流场分布情况,从而选择出既满足通风需求又经济合理的通风方案。比如,在地下洞室群中,长斜井和竖井是重要的排风口,这些洞室由于结构特殊,往往具有较高的通风排烟能力。所以,在地下洞室群的施工过程中,应优先考虑施工这些长斜井和竖井。通过先行施工这些洞室,可以有效地解决洞室群的通风散烟问题,为其他洞室的施工创造良好的施工环境。

2.3 长斜井施工技术

(1) 导井开挖是长斜井施工的第一步,也是整个施工过程中的基础。导井开挖的方法主要有四种:人工正导井法、人工反导井法、阿力马克爬罐反导井法和反井钻机反导井法。在斜井导井开挖的实际操作中,常采用以下三种方案:一是正、反导井同时进行,上口采用手风钻开挖、人工装渣、卷扬机牵引斗车出渣,下口采用阿力马克爬罐打反导井、自重溜渣;二是采用反井钻机反导井开挖,这种方法利用钻机直接从斜井的下部向上部进行钻进,形成导井;三是根据具体施工条件和需求,综合应用多种开挖方法。(2) 在导井开挖完成后,就需要进行扩挖与支护,斜井扩挖及喷锚支护作业通常在一个由卷扬机牵引的钢平台上进行,这个作业台车高达10米,分为四层,能够同时满足扩挖钻爆和喷锚支护的需求。扩挖产生的石渣通过导井溜渣到下口,再由机

械设备进行出渣。这种施工方法不仅提高了施工效率,还确保了施工的安全性和稳定性。(3) 接下来是斜井的混凝土施工技术,斜井混凝土衬砌一般采用全断面自下而上的方式进行。施工难点在于模板技术,目前常用的模板技术有CSM间断滑模、XHM-7型斜井滑模和LSD斜井滑模等。其中,CSM间断滑模是国外引进的先进技术,而XHM-7型斜井滑模和LSD斜井滑模则是国内自行创新的技术。这些模板技术各有特点,能够根据不同的施工条件和需求进行选择和应用。(4) 钢衬入井就位、焊接和回填混凝土都需要精确的操作和严格的质量控制,为了满足最长钢管节入井、安装卷扬机及作业的空间需要,通常需要在在上弯段进行扩挖。钢衬平移到斜井上口后,由慢速卷扬机牵引台车缓慢下降就位。在钢衬外空腔回填混凝土时,由于混凝土入仓和振捣都非常困难,可以采用创新的方法,如回填微膨胀自密实混凝土,通过溜管入仓。这种方法不仅提高了施工进度,还保证了回填混凝土的质量。

2.4 地下厂房施工技术

抽水蓄能电站地下厂房的施工是一项庞大而复杂的工程,其特点在于跨度大、边墙高耸、结构复杂、交叉洞室众多,以及围岩稳定性问题突出。第一,厂房的开挖分层规划是施工的第一步,由于厂房的高度通常较大,因此大多会分为6层或7层进行开挖。在规划开挖分层时,需要充分结合施工通道条件、厂房的结构特点、施工机械的性能以及相邻洞室和相关构筑物的施工情况。第一层的高度应适当提高,以确保拱脚及其上部空间能够满足施工要求,而对于其他层,层高通常设定在5-8米之间,这样的设计有助于减小抽槽开挖施工中岩石的夹制影响,提高施工效率^[3]。第二,厂房的施工工序相当复杂,且工期紧迫,为了应对这一挑战,我们通常采用“平面多工序,立体多层次”的开挖方法。在平面上,钻孔、爆破、出渣、锚杆(索)钻孔安装以及混凝土喷护等施工工序应尽可能实现流水作业或穿插施工,以充分利用时间和空间资源,提高施工效率。在立面上,遵循自上而下的顺序逐级开挖,同时考虑从下部施工通道进入厂房施工,实现立体交叉施工。这种施工方法能够最大限度地减少施工干扰,确保施工安全和质量。第三,在厂房施工过程中,岩壁梁是一个至关重要的建筑物,岩壁梁位于厂房开挖层的第二层或第三层,其岩台开挖质量将直接影响到桥机的运行安全。为了确保岩壁梁的开挖质量,我们通常会按照两侧预留保护层、中部抽槽开挖的方式进行,这种方法能够有效控制岩石的破碎程度,减少对岩壁梁的损伤,同时确保岩壁

梁的平整度和稳定性。

3 机电安装调试技术

3.1 安装过程控制

安装过程控制作为机电安装的核心部分，其严谨性和精确性对于确保整个安装过程的质量具有决定性的影响。（1）在机电安装开始前，施工人员必须深入研究和理解施工图纸和相关规范，施工图纸是安装工作的指导文件，它详细标明了设备的安装位置、尺寸、连接方式和要求等关键信息。而相关规范则提供了安装过程中的操作标准、安全要求和质量控制准则。因此，施工人员必须熟悉并遵循这些文件和规范，确保安装工作的准确性和安全性。（2）设备定位是机电安装过程中的关键环节，它直接影响到设备的运行效果和安全性。在设备定位时，要根据施工图纸和相关规范，确定设备的准确位置和方向。同时，要使用合适的定位工具和测量仪器，确保设备定位的精确性。在设备固定时，要根据设备的特点和要求，选择合适的固定方式和固定材料，确保设备的稳定性和可靠性。（3）管道连接和电气接线是机电安装过程中的重要步骤，它们直接关系到设备的运行效果和安全性。在管道连接时，要遵循相应的管道连接规范和标准，确保管道连接的严密性和可靠性。

3.2 设备检查与调整

在抽水蓄能电站的建设中，机电设备安装完成后，紧接着便是至关重要的设备检查与调整阶段，这一阶段不仅是对安装质量的全面检验，更是确保设备能够稳定、高效运行的关键步骤。其中，设备检查是确保机电设备安全运行的基础，在检查过程中，需要对设备的电气连接进行细致检查，确认连接是否稳定、无松动，以避免因电气连接问题导致的设备故障或安全事故。同时，对管道连接的检查也不容忽视，要确保管道连接紧密、无泄漏，防止因管道问题导致的系统故障或资源浪费。除了电气连接和管道连接的检查外，设备的整体结构、零部件的完好性以及润滑、紧固等常规维护工作也是检查的重点，这些工作看似琐碎，但实则是确保设备长期稳定运行的关键。通过细致的检查，可以及时发现并处理潜在的问题，避免问题扩大化，影响设备的正常运行。另外，设备调整是确保机电设备高效运行的关键^[4]。在设备调整过程中，需要根据设备的实际运行情况和设计

要求，对设备的参数、工作状态等进行适当的调整。例如，对于电动机的转速、功率等参数进行调整，可以使其更好地适应实际工况，提高运行效率；对于传动系统的间隙、位置等进行调整，可以确保传动系统的稳定运行，减少故障发生的可能性。

3.3 系统测试

系统测试与运行是抽水蓄能电站建设过程中的重要环节，它直接关系到电站能否安全、高效地投入运行。通过系统测试，可以全面检查机电系统的各项功能是否满足设计要求，设备之间的配合是否协调，以及系统在不同工况下的稳定性和可靠性。在测试过程中，特别要注意设备之间的配合情况，抽水蓄能电站的机电系统由众多设备组成，这些设备之间需要相互协调、密切配合，才能确保整个系统的稳定运行。因此，在测试时，要特别关注设备之间的接口、连接和通信等关键部分，确保它们能够正常工作并有效协作。此外，系统测试还需要关注设备在不同负荷条件下的运行情况，抽水蓄能电站的负荷变化较大，设备需要在不同的负荷条件下都能保持稳定的运行性能。因此，在测试时，要模拟各种负荷情况，如满负荷、轻负荷、突变负荷等，以检验设备的适应能力。

结语

抽水蓄能电站作为一种成熟且高效的储能技术，在能源转型和电力系统调整中发挥着不可替代的作用。随着全球能源结构的调整和电力需求的不断增长，抽水蓄能电站的应用前景将更加广阔。未来，抽水蓄能电站的建设规模将进一步扩大，应用场景也将更加广泛。同时，随着技术的不断创新和成本的降低，抽水蓄能电站的竞争力将进一步提升。

参考文献

- [1]严匡柠.抽水蓄能电站关键技术综述[J].水电与抽水蓄能,2019:56.
- [2]田均豪.抽水蓄能电站施工关键技术分析[J].当代电力文化,2019,06:45-48.
- [3]张利荣,严匡柠,张孟军.大型抽水蓄能电站施工关键技术综述[J].水电与抽水蓄能,2019:77.
- [4]李明.抽水蓄能电站水位控制技术研究[J].水力发电学报,2022,02:78-83.