

水文地质条件对气盾坝工程施工影响研究

郁晓旺

中铁十一局集团第二工程有限公司

摘要：本文以我国中部某市一河两岸水环境综合治理项目中的气盾坝工程为例，探讨了水文地质条件对气盾坝工程施工进度和安全性的影响。研究结果表明：低承载力地基是导致施工延误的主要原因，采用高喷灌浆等技术进行地基处理导致施工工期增加了20%~30%；高地下水位会显著增加基坑排水负担，导致施工时间延长。使用多级排水系统可有效控制地下水位波动；汛期大量降水会导致施工工期延长，降水量超过100mm后，施工工期会延长2~3天；采用实时水文监测与应急调整措施可有效减少了因水文条件变化引发的施工延误。

关键词：气盾坝；水文地质条件；工程施工；施工影响

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.24.064

引言

气盾坝作为一种新型水利设施，近年来在水环境治理项目中得到了越来越多的应用^[1]。气盾坝通过气囊充排气调节水位，进而实现对水体的灵活控制。与橡胶坝、液压升降坝、底轴旋转刚坝等传统水坝相比，气盾坝具有更高的灵活性和自动化水平。

气盾坝于20世纪80年代引入我国，国内在气盾坝的设计、施工和运行等方面积累了丰富的研究成果和相关经验。靳恒等^[2]通过对气盾坝运行原理、运行优势进行综合分析，提出了气盾坝安装关键技术，并同时气盾坝安装提升固定装置和密封装置进行了优化设计并应用至实际工程；黎彦^[3]以茶园拦河坝工程为实例，通过对拦河坝工程设计方案进行了细致的分析，该研究表明，气盾坝在城市河道景观抬水工程中兼具实用性与美观性；林聿圣^[4]以武夷山市黄柏溪引调水工程为例，设计了气盾坝结构并分析了气盾坝盾板与砼侧墙面两者之间的关系。虽然国内针对气盾坝的研究已经取得了丰富成果，但针对气盾坝施工过程中水文地质条件可能产生的影响研究相对较少^[5]。

本文以我国中部某地一河两岸水环境综合治理项目中的气盾坝工程为例，探讨了水文地质条件对施工进度和安全性的影响，重点分析了地基承载力、地下水位变

化以及降水量对气盾坝施工的影响。本文研究成果可为类似工程提供参考。

一、工程概况

（一）工程概述

气盾坝工程是我国中部某地一河两岸水环境综合治理工程中的重要水利设施，旨在解决当地河流水位波动大、洪涝灾害频发的问题。工程中气盾坝长度为120m，坝高为4.5m。气盾坝设计采用了双层气囊结构，能够承受较高的水压，并通过PLC自动控制系统实现对水位的精准调节。

（二）水文地质条件

项目地处亚热带季风气候区，年降水量较大，尤其在每年汛期，降雨集中，河流水位波动较为剧烈。根据地质勘察报告，项目区域地基主要由冲积层组成，土层主要为粉质黏土，部分区域存在圆砾土层（表1），地下水位较高且地下水补给充足，水流活动频繁，这对基坑开挖及坝体基础施工带来了较大的挑战。

表1 土层工程特性表

土层名称	素填土	淤泥质粉质黏土	圆砾
容重 γ /kN/m ³	19.3	18.1	\
压缩模量 E_{s1-2} /MPa	5	3	14
黏聚力 c /kPa	18	10	\
内摩擦角 φ /°	12	6	30
地基土摩擦系数 f	0.2	0.15	0.35
地基承载力特征值 f_{ak} /kPa	120	70	300

二、水文地质条件对气盾坝施工的影响

（一）地基岩土条件的影响

项目区域的地基岩土条件对气盾坝施工的安全性和进度具有重要影响。根据地质勘察，项目地基主要由冲积层中的粉质黏土和圆砾土组成，土质较为松散，所在区域的地基承载力仅为70~120kPa。冲积层的土层结构使得基坑开挖时易出现边坡坍塌和渗水问题，尤其是在地下水位较高的区域，基坑稳定性将进一步降低。此外该项目的地基不均匀沉降问题也尤为突出，可能导致坝体基础的结构变形和裂缝。

(二) 地下水位对施工的影响

地下水位对气盾坝施工的影响十分显著，尤其是在基坑开挖和土方回填阶段。该项目区域地下水位较高，通常处于距地表1.5-2m的深度，监测数据显示，地下水位的波动可能导致基坑内水位快速上升，给施工带来诸多不便。高地下水位会增加基坑的渗水风险，导致基坑边坡失稳，严重时甚至可能引发边坡坍塌。

(三) 降雨与水流条件对施工的影响

在气盾坝施工期间，降雨和水流条件对施工进度和安全也会不利影响。该项目地处亚热带季风气候区，年降水量超过1200mm，其中大部分集中在汛期。降雨量的集中爆发容易导致河流水位骤升，增加坝体施工中的水流压力，并导致基坑内的积水量急剧上升。尤其是在混凝土浇筑和土方回填阶段，汛期降水会延长施工时间。此外，河流水位波动较大时，水流对施工场地周边堆积土的冲刷加剧，可能引发施工设备的移位或损坏。

三、针对特殊水文地质条件的施工技术措施与效果评估

(一) 施工排水技术及其效果评估

在气盾坝施工中，地下水位和降水的排水问题尤为重要。为应对高地下水位和集中降雨，该项目按照“以截为主、以降为辅”的原则，分别在坡脚、坡顶及围堰边各设置1道排水沟和集水井（图1），其中排水沟尺寸为30×40cm，围堰集水井为150×150×100cm，其余位置集水井为60×60×80cm。

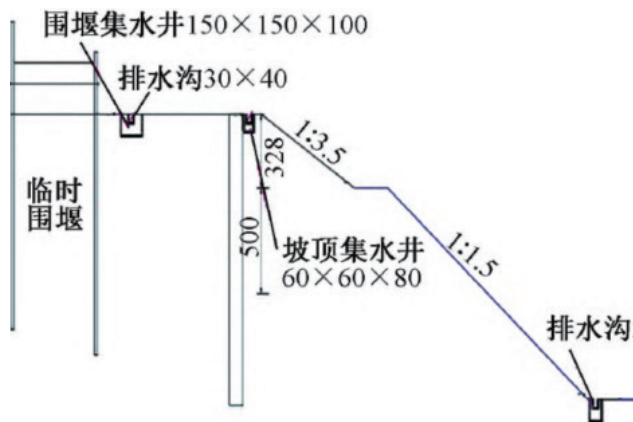


图1 排水设施布置示意图（单位：cm）

根据施工期间的数据，使用多级排水系统的基坑积水深度可减少约40%，排水效率大大提高。此外，围堰的设置防止地表水流入施工区方面表现良好，特别是在汛期，大量降水通过导流渠和集水坑的引导，极大降

低了基坑积水量。现场数据显示，通过加强排水措施，基坑内积水量平均减少了25%至30%，为施工提供了安全保障。

(二) 地基加固技术及其效果评估

为确保气盾坝的结构稳定性，项目采用了高喷灌浆对地基进行加固（图2）。高喷灌浆位于闸坝底板中心线处，灌浆浆液选用42.5级普通硅酸盐水泥，采用单排旋喷套接法施工，灌浆轴线长120m，灌浆孔位铅直孔，穿越填土层进入中风化粉砂岩，采用双排布置，排间距0.4m，成桩直径不小于0.6m。高喷灌浆分二序进行，依次为第Ⅰ序孔和第Ⅱ序孔。高喷墙的墙体性能指标要求渗透系数小于 1×10^{-6} cm/s，抗压强度大于3MPa。

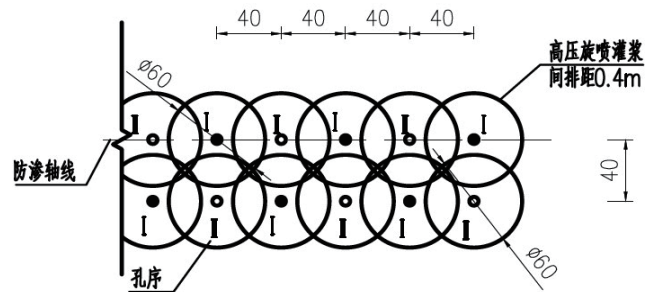


图2 高压旋喷灌浆大样图（单位：cm）

图3为地基处理前后的累计沉降对比结果，可见，采用高喷灌浆技术后，地基的沉降量减少了50%以上，沉降速率显著降低，施工质量得到了较大提升。结合钻孔灌注桩的加固效果，整体地基稳定性大幅增强，避免了因地基沉降对坝体结构的影响，为后续的坝体安装提供了可靠的基础。

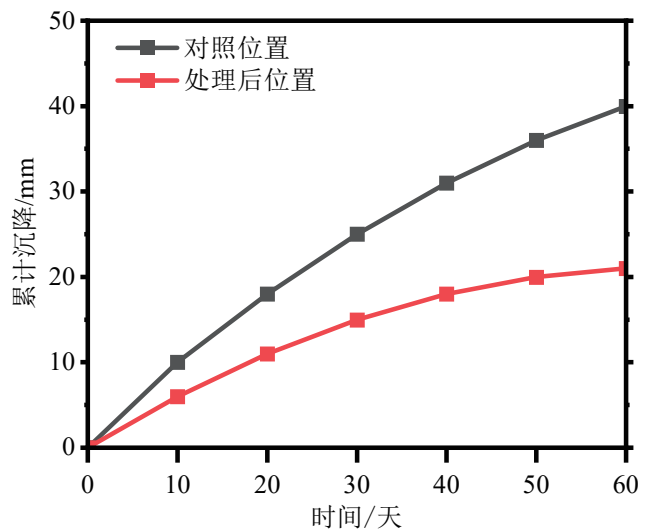


图3 处理前后地基累计沉降

(三) 施工期水文监测与调整措施

在气盾坝施工期间，项目团队通过布设多点地下水位监测设备，实时监控地下水位波动，数据表明，在施工过程中地下水位波动范围为±0.5m。根据监测数据，施工团队能够在地下水位异常升高时启动应急排水系统，防止基坑积水。此外，降水量和河流水位监测系统为施工期的排水和围堰防护提供了重要依据，确保在大规模降水或汛期前采取预防措施，避免对施工进度产生严重影响。通过水文监测与应急调整措施的配合，确保了施工的连续性和安全性。

四、水文地质条件对施工进展的影响

(一) 地基承载力对施工工期的影响

在气盾坝施工中，地基承载力不佳是导致施工工期延长的关键因素之一。地基承载力不足会导致基坑开挖过程中边坡稳定性差，容易出现塌方、滑移等问题，进而增加了额外的土方处理和支护工作量。根据项目现场数据，基坑稳定性不足导致基坑施工工期延长了20%~30%，原计划30天的基坑开挖和基础施工时间延长至40天以上。此外，基础浇筑过程中，由于地基沉降过大，需要进行多次调整和修复，进一步增加了施工时间和成本。

(二) 降水量对施工工期的影响

降水量的变化对施工进度产生了显著影响，尤其是在汛期降水集中的情况下。该项目位于亚热带季风气候区，年降水量超过1200mm，其中大部分集中在5月至9月的汛期。图4为项目降水量与排水负担和施工工期关

系，由图可以看出，在强降雨日施工现场的作业时间平均缩短了30%~40%，排水作业和基坑修复需要耗费大量时间。根据历史施工数据，降雨超过100mm时，施工停滞的时间可达2至3天，导致施工总工期延长5%~10%。例如在2023年6月的一次暴雨后，基坑排水工作增加了约2倍，导致项目整体工期延长了约4天。因此，汛期的降雨量对施工进度的影响不可忽视，需提前制定有效的排水和防护计划。

结论

本研究通过对某地气盾坝项目的分析，探讨了水文地质条件对施工进度和安全性的影响，研究结果表明：

- (1) 低承载力地基是导致施工延误的主要原因。采用高喷灌浆等技术进行地基处理导致施工工期增加了20%~30%。
- (2) 高地下水位会显著增加基坑排水负担，导致施工时间延长。使用多级排水系统后，地下水位波动对施工进度的负面影响得到了有效控制，确保了基坑稳定性和安全性。
- (3) 汛期大量降水导致施工工期延长，降水量超过100 mm时，工期延长2~3天。合理的构建排水系统和防护措施可有效缓解降水对施工进度的影响。
- (4) 通过实时水文监测与应急调整措施，有效减少了因水文条件变化引发的施工延误，保障了施工的顺利进行。

参考文献

[1] 钟顺钠, 申忠辉. 阳朔县新城防洪治涝工程气盾坝设计[J]. 高科技与产业化, 2024, 30(07): 40-42.

[2] 靳恒, 王清峰, 郑敏哲, 等. 大型水利工程气盾坝安装及优化关键技术[J]. 施工技术(中英文), 2022, 51(04): 73-76+81.

[3] 黎彦. 气盾坝在茶园拦河坝工程中的设计与应用分析[J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(04): 96-99.

[4] 林聿圣. 气盾坝盾板与砼侧墙接触面施工关系探讨[J]. 陕西水利, 2021, (09): 178-179+183.

[5] 刘加龙, 杨杰, 黄润波, 等. 气盾坝在城市河道治理中的应用[J]. 云南水力发电, 2023, 39(12): 175-177.

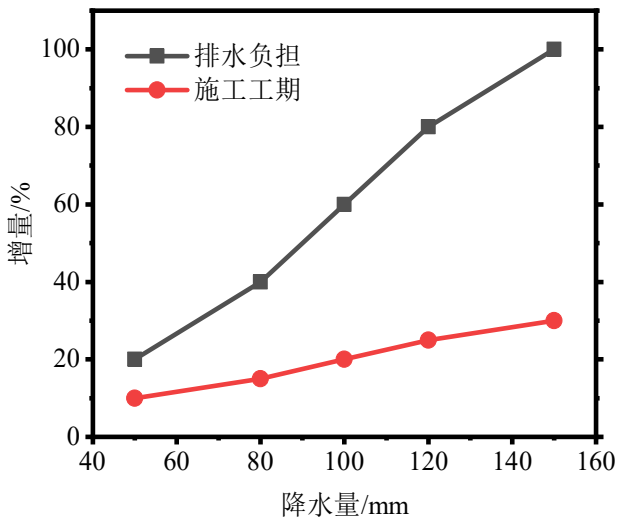


图4 降水量与排水负担和施工工期关系