

基于顺引畅排的采煤沉陷区与河流沟通研究

钱筱暄^{1,2}

¹安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院, 安徽 合肥

²安徽省水利水资源安徽省重点实验室, 安徽 合肥

收稿日期: 2024年4月1日; 录用日期: 2024年5月4日; 发布日期: 2024年6月14日

摘要

为畅通水系, 提高供水保障程度, 根据宿州市埇桥区采煤沉陷区群这一特殊下垫面, 对比考虑地理位置、水位调度、补水方式、水质安全、工程难易等选择沱河建立朱仙庄、芦岭沉陷区与河流连通技术方案, 提出祁桃钱沉陷片与河流连通方案。顺引畅排是沉陷区与河流连通新思路、新方式, 实现了水量可引可供最大化、保障防洪除涝安全科学化的目标。

关键词

河流连通, 顺引畅排, 采煤沉陷区

Study on Communication between Mining Subsidence Area and River based on Smooth Drainage

Xiaoxuan Qian^{1,2}

¹Water Resources Research Institute of Anhui Province and Huaihe River Water Resources Commission, Hefei Anhui

²Anhui Province Key Laboratory of Water Conservancy and Water Resources, Hefei Anhui

Received: Apr. 1st, 2024; accepted: May 4th, 2024; published: Jun. 14th, 2024

Abstract

In order to unblock the water system and improve the guarantee degree of water supply, according to the special underlying surface of the coal-mining subsidence area group in Yongqiao District of Suzhou City, considering the geographical location, water level regulation, water supply mode, water quality safety, project difficulty and so on, chose Tuohe River to connect the technical

文章引用: 钱筱暄. 基于顺引畅排的采煤沉陷区与河流沟通研究[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(3): 438-443.

DOI: 10.12677/aep.2024.143060

scheme of establishing Zhuxianzhuang and Luling subsidence area. The connection scheme between Qitaoqian subsidence and river is put forward. Smooth drainage is a new idea and method to connect subsidence area with river, which realizes the goal of maximization of water diversion, supply and safety of flood control and water logging control.

Keywords

Connecte River, Smooth Drainage, Mining Subsidence Area

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

以实现水资源可持续利用、人水和谐为目标，以提高水资源统筹调配能力、改善河湖生态环境、增强抵御水旱灾害能力为重点任务，通过水库、闸坝、泵站、渠道等必要的水工程，建立河流、湖泊、湿地等水体之间的水力联系，优化调整河湖水系格局，形成引排顺畅、蓄泄得当、丰枯调剂、多源互补、可调可控的江河湖库水网体系[1] [2] [3]。在以往的河湖、河道治理工程中，往往只注重“泄洪、排涝、蓄水、航运”等因素，但随着社会的发展，河道的功能发生了巨大的改变，人们对景观、休闲、生态等功能性需求越来越高。因此，适时提出并研究“顺引畅排”在河湖连通中的重要作用和意义符合时代要求。

河道的顺引畅排不仅可以畅通河道水系，而且还可以有效控制高低水位，使河道达到“水系通、水体活、水质好”的要求。研究河湖连通“顺引畅排”对建立“蓄泄得当、丰枯调剂、多源互补、调控自如”的江河湖库水网体系起到促进作用，对强化水资源统一调度、科学调度也有着深远的积极意义。采煤沉陷区是由于采煤引起地面塌陷，积水成湖而成，在安徽省淮北市、宿州市、淮南市有大大小小沉陷区几十个[4] [5]，通过与河流连通可提高供水保障率，增强防洪保安水平，改善区域水生态环境。本文以宿州市埇桥区采煤沉陷区群为研究对象，探讨顺引畅排思路下煤陷区与河流连通研究。

2. 研究区概况

宿州市境内的煤炭开采已经近 40 年的历史，先后建有大小矿井 20 多对，主要隶属淮北矿业集团和皖北煤电集团，现状造成沉陷面积约 5846.64 hm^2 ，其中 10 mm-1.5m 沉陷深度面积 4291 hm^2 、1.5m-3m 范围内沉陷深度内沉陷面积 992 hm^2 、3~5 m 范围内沉陷深度内沉陷面积 243 hm^2 、大于 5m 范围内沉陷深度内沉陷面积 321 hm^2 。埇桥区沉陷面积合计 5031 hm^2 ，占宿州市采煤沉陷区总面积 86.0%，其中 10 mm~1.5 m 沉陷深度面积 3662 hm^2 、1.5~3 m 范围内沉陷深度内沉陷面积 840 hm^2 、3~5 m 范围内沉陷深度内沉陷面积 209 hm^2 、大于 5 m 范围内沉陷深度内沉陷面积 321 hm^2 。规模以上沉陷区有朱芦沉陷片(朱仙庄沉陷区与芦岭沉陷区)、祁桃钱沉陷片(祁东沉陷区、祁南沉陷区、桃园沉陷区、钱营孜沉陷区)两大片。朱仙庄沉陷区虽与小黄河沉为一，但河岸堤防已采取煤矸石恢复，芦岭沉陷区段沱河段也已采取煤矸石恢复[6]，来水主要为矿坑排水和产流区间的产流，主要耗水为试算供水量和蒸发渗漏。

至 2030 年两大沉陷区经过多年发展已经基本接近最终稳定沉陷范围，沉陷区内部出现片状积水，积极进行各沉陷区的内部、之间的渠系沟通，推动各沉陷区与附近河流的沟通，沉陷区定位为连接沟通截引新汴河、沱河、浍河洪水资源，调蓄淮水北调四铺闸、二铺闸之间的调水水量，作为宿州市大型工业

用水户的稳定的地表水取水水源，同时积极推动生态修复、景观规划，作为宿州市的后花园进行治理，使采煤沉陷区的变废为宝。

3. 沉陷区特征水位的确定

埇桥各采煤沉陷区属于平原湖泊，除水面产流外，其余汇流面积很小，最高限制水位主要考虑遭遇短历时暴雨不产生漫溢致灾。根据宿州市雨量站历年最大 3 d 雨量分析，区域内 50 年一遇最大 3 d 雨量约 300 mm，确定最高限制水位汛期取低于周边平均地面高程 0.5 m，非汛期取低于周边平均地面高程 0.3 m。

Table 1. Characteristic water levels in the subsidence areas of Yongqiao District

表 1. 埇桥区各沉陷区特征水位

矿区名称	芦岭矿	朱仙庄矿	桃园矿	祁南矿	祁东矿	钱营孜矿
沉陷区周边平均高程(m)	23.5	25.5	22.9	21.8	20.8	23.4
正常蓄水位(m)	23	25	22.4	21.3	20.3	22.9
汛期蓄水位(m)	23	25	22.4	21.3	20.3	22.9
枯水期蓄水位(m)	23.2	25.2	22.6	21.5	20.5	23.1

生态水位的确定采用湖泊形态分析法。将沉陷区视为湖泊，沉陷区死水位用湖泊最低生态水位计算，见下式联立表达求解：

$$F = f(H); \frac{\partial^2 F}{\partial H^2} = 0; H_{\min} + \Delta h_1 \geq H \geq H_{\min} - \Delta h_2 \quad (1)$$

式中， F 为湖面面积(m^2)； H 为湖泊水位(m)； H_{\min} 为湖泊自然状况下多年最低水位(m)； Δh_1 和 Δh_2 分别为与湖泊水位变幅相比较小的正数(m)。

经计算，朱芦联合沉陷区死水位为 18m，祁东、祁南联合沉陷区死水位为 18m。

4. 采煤沉陷区沟通方案研究

宿州市是安徽省以超采中深层、深层地下水为主的典型缺水城市。选择沉降深度及容积较大、距城市和工业园区较近的采煤沉陷区，采取河道连通、挖深垫浅等整治措施，形成有效的供水水库作为临近城镇工业、农业的供水水源。沉陷区的“水库”功能主要体现在两个方面：一方面与附近主要河流及地表水体相串联，主要拦蓄当地地表径流及过境地表水资源，将丰水年丰水季节洪水蓄住，变洪水为资源，以便在枯水年及枯水期向城市、工业园区及农灌区供水。另一方面为淮水北调水源准备调蓄水库。

4.1. 朱芦沉陷区

(1) 河道引、退水顺畅性分析

朱仙庄、芦岭采煤沉陷区紧邻沱河和小黄河，因此朱仙庄、芦岭沉陷区连通方案考虑小黄河和沱河，通过对比工程条件、水质条件等来选择最优方案。

目前，朱仙庄、芦岭联合沉陷区附近的河道为沱河和小黄河。沱河发源于河南商丘，入安徽省后汇入沱湖，是跨豫、皖两省的输水河道。1966 年开挖新汴河时，将七岭子以上沱河和北沱河共计 3936 km^2 截入新汴河。宿州市境内沱河集水面积为 1195 km^2 ，境内河道长 103 km。建有沱河进水闸、宿东闸、王桥闸，总蓄水量约 210 万 m^3 。小黄河是老濉河的一条主要支流，起源于泗县西北部的大孟沟，于新关汇入老濉河，河段长度 28 km，流域面积 258 km^2 ，境内有黄圩、大庄、瓦坊、黑塔、刘圩等 5 个乡镇，人

口 15 万，耕地 30 万亩。

沱河最大设计流量 $180 \text{ m}^3/\text{s}$ ，王桥闸上设计最高水位 24 m，正常蓄水位 23.5 m [7] [8]；小黄河最大设计取水能力 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ，大余闸位于宿州市泗县大余村，由于小黄河属于宿州市内河，河道较窄，规模较小，正常蓄水位 22.0 m。依据新汴河宿县闸多年平均流量资料[9] [10]，可知在 5 年一遇情况下，汛期宿县闸日平均流量为 $145.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

沱河上现有涵闸沱河闸、宿东闸、王桥闸，因受沉陷影响计划王桥闸东移至芦岭镇东，下移距离约为 2.4 km，王桥新闸特征水位数据采用原王桥闸数据，正常蓄水位 23.5 m 与芦岭矿地面平均高程接近，可以通过王桥闸抬升水位实现沉陷区自流补水，小黄河上现有大店闸距离沉陷区最近，距离约 6.5 km，大店闸正常蓄水位 22 m，低于沉陷区地面平均高程 1.5 m，不利于来水的自流蓄水。

Table 2. Comparative analysis of different diversion conditions

表 2. 不同引水条件对比分析

河道	沉陷区死水位 (m)	沉陷区正常蓄水位 (m)	河道最大设计流量 (m^3/s)	补水方式	曲折系数	水质类别
沱河	18	23	180	自流补水	0.971	V类~劣V类
小黄河	18	23	10	泵站提水	0.965	III~IV类

经过以上比较，沱河、小黄河取水水源一致，均来自新汴河宿县闸上；小黄河取水能力 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ，对于汛期短历时大流量截洪蓄水，沱河流量更大些。

通过对朱芦采煤沉陷区周围的沱河、小黄河的河道曲折系数进行计算，可以为相应河道引、退水顺畅性分析提供参考依据。沱河曲折系数为 0.971，小黄河为 0.965，朱芦沉陷区周边的沱河河道曲折系数比小黄河大，说明沉陷区附近该河道比较曲折，对于河湖连通“顺引畅排”工程相对于小黄河来说比较不利。

由于小黄河上游一支位于宿州市区小黄河上源，一支位于新汴河跃进闸进水口，水质基本为 V 类~劣 V 类。沱河上游起源为新汴河沱河进水闸，近年来宿州市通过入河排污口规范化管理，加大治污力度，沿沱废污水基本实现零排入，水质达到 III~IV 类[11]。因此结合引水流量、水质安全等方面因素考虑，朱仙庄、芦岭沉陷区的河湖连通选择沱河。

在河湖连通“顺引畅排”研究过程中，考虑对河道景观连接度的研究是基于“开放河流”理念，有效梳理和贯通水系，将分散和孤立的河道连通成为流动循环的水网系统必不可少的环节。连接度是景观斑块之间的联系程度，通常斑块之间的网络越发达，斑块之间的物质、能量及信息的交换也越频繁。将河道视为景观斑块，则河道总条数即为景观斑块总数 V ；河道之间相连的节点数即为斑块之间的连接数目 L 。通过计算，沱河连通前后斑块之间的连接数目由 89 增加到 108，增加 19；景观连接度由原先的 0.33 增加到 0.40。小黄河使斑块之间的连接数目由 51 增加到 64，增加 13；景观连接度由原先的 0.19 增加到 0.27。景观连接度的增加，使整个水系形成网络结构，提供水生生物迁移的多种选择途径。说明沱河与沉陷区河湖连通以后，要比小黄河与沉陷区连通后对水系网络化的形成更加有效。

(2) 采煤沉陷区沟通方案

朱仙庄、芦岭沉陷区的外部河道沟通选择沱河。

第一步：沱河上现有沱河闸、宿东闸、王桥闸，因受沉陷影响，计划王桥闸东移约 2.4 km 至芦岭镇东，王桥新闸正常蓄水位 23.5 m，接近芦岭矿地面平均高程，为自流补水，可通过王桥闸抬升水位实现。

第二步：新建沱河朱仙庄、芦岭沉陷区涵闸两座，一座引水闸(设计流量 $10 \text{ m}^3/\text{s}$)，一座退水闸(设计

流量 5 m³/s)。朱芦联合沉陷区调算来水来自宿县闸，淮水北调翻水情况下区间用水剩余水量中可调用充蓄水资源量、沉陷区自产水资源量，用水项目为试算可供水量、蒸发渗漏损失量、废弃下泄水量。根据上述平衡方案调算，朱仙庄、芦岭沉陷区 50%年份可引水量为 0，可供水量为 1272 万 m³/a；95%年份可引水量为 0，可供水量为 576 万 m³/a。

4.2. 祁桃钱沉陷片

在内部连通过程中，祁东矿、祁南矿矿区高程相近，沉陷区井田边界相连，祁南煤矿可以通过祁县闸的抬升水位进行自流引洪蓄水，祁东矿在祁县闸通过河道自流引水困难，为增加调蓄库容提高供水保证率，在浍河北侧通过明渠方式将上述两沉陷区进行沟通，明渠设计流量 10m³/s。

(1) 钱营孜与浍河建设灌排泵站 2 座：与河道连通方案中，钱营孜沉陷区地面高程 23.4 m，取水水源为浍河祁县闸上洪水资源，祁县闸正常蓄水位为 21 m，因此钱营孜与浍河沟通方案为建设灌排泵站 2 座(钱营孜沉陷区跨浍河两岸)，设计流量 5 m³/s。

(2) 桃园沉陷区通过三支沟与运粮河相沟通，需新建引水闸一座，退水闸一座。

(3) 祁东、祁南矿通过明渠沟通联成一体，祁东、祁南联合沉陷区沟通方案为与浍河祁县闸上沟通，需新建进水闸两座，退水闸两座，进水闸设计流量 10 m³/s、退水闸设计流量 5 m³/s。

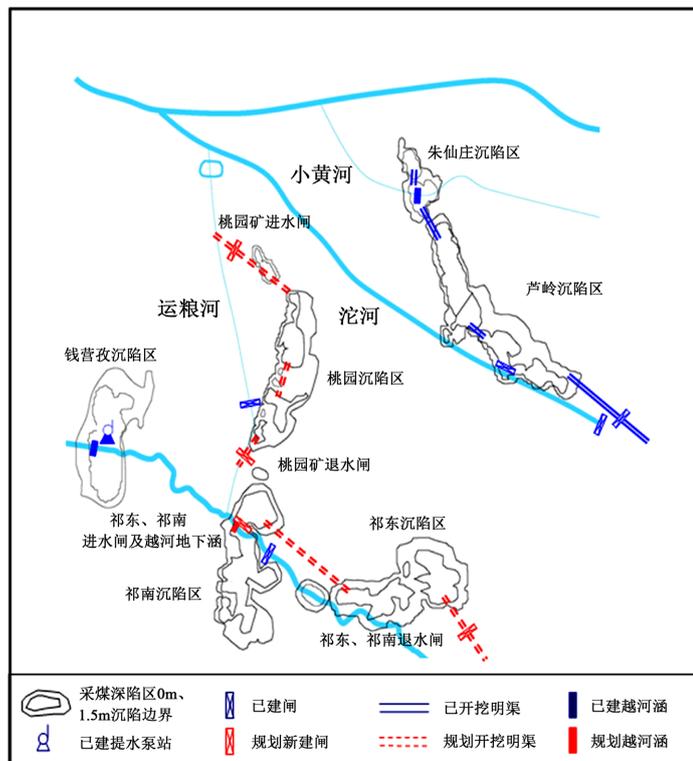


Figure 1. Sketch map of mining subsidence area communication

图 1. 采煤沉陷区沟通示意图

至 2030 年“淮水北调”二期认为已经实现，即二铺闸上达到 30 m³/s，四铺闸进一步上翻水流量 17 m³/s，区间流量 13 m³/s，区间可调供水量 14,990 万 m³，同样 2030 年不考虑从团结上相机翻水。当宿县闸上发生天然径流弃水时停止淮水北调翻水，当宿县闸没有天然径流下泄时开始淮水北调翻水，每月翻水量为扣除当年农业缺水后剩余径流量的平均值，翻水上限值为宿县闸 13 m³/s 流量的全月翻水。桃园矿

沉陷区, 由于运粮河与沱河相连, 桃园矿与运粮河相沟通, 根据外河沟通设计, 运粮河调取新汴河上剩余水资源量最大值按照 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 设定, 因此桃园矿来水为运粮河自产水资源量、运粮河转调新汴河水资源量中可引充蓄水量、桃园矿自产水资源量, 用水项目为试算可供水量、蒸发渗漏损失量、废弃下泄水量。祁东、祁南联合沉陷区调算方案, 由于祁东、祁南与浍河沟通, 浍河来水主要为南坪闸来水、区间自产水资源量、运量河充蓄桃园矿后富余下泄水量, 因此祁东、祁南联合沉陷区调算来水为祁县闸上下泄水量中可引充蓄水量, 用水项目为试算可供水量、蒸发渗漏损失量、废弃下泄水量。

钱营孜沉陷区充蓄方案, 由于 2030 年参与供水的 4 大沉陷区中仅有钱营孜充蓄过程为提引充蓄, 其他各矿均为自流充蓄, 从经济角度考虑将钱营孜沉陷区在充蓄过程中放在充蓄链的最末端, 为最后充蓄沉陷区。钱营孜沉陷区来水为祁县闸上充蓄祁东祁南联合沉陷区后仍旧富余下泄水量中提引能力范围内的水量、钱营孜沉陷区自产水资源量, 用水项目为试算可供水量、蒸发渗漏损失量、废弃下泄水量。根据上述平衡方案调算, 祁桃钱沉陷片 50% 年份可引水量 $35,448 \text{ 万 m}^3/\text{a}$, 可供水量为 $32,184 \text{ 万 m}^3/\text{a}$, 95% 年份可引水量 $20,246 \text{ 万 m}^3/\text{a}$, 可供水量为 $18,312 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。

5. 结论

(1) 本文以安徽省宿州市埇桥区采煤沉陷区群为例, 通过对比朱仙庄、芦岭沉陷区中沱河和小黄河水位调度、流量调节、河道曲折系数、水质等, 确定朱芦沉陷区连通技术方案, 通过对祁桃钱沉陷片分析, 建立河流沟通方案。

(2) 通过建立采煤沉陷区顺引畅排思路, 研究表明沉陷区与河流连通方案可行, 水资源调蓄功能会得到显著提高, 减少城市发展对地下水的依赖, 提高供水保障率。另一方面采煤沉陷区与河流连通, 将改善矿区生态、人居环境, 有利于社会、经济、生态和谐地可持续发展。

(3) 本文基于顺引畅排思路建立河流沟通方案, 但涉及区域工程设计、生态修复、环境保护等方面, 在实际操作中需进一步细化和优化方案。

参考文献

- [1] 李宗礼, 李原园, 王中根, 等. 河湖水系连通研究: 概念框架[J]. 自然资源学报, 2011, 26(3): 513-522.
- [2] 庞博, 徐宗学. 河湖水系连通战略研究: 关键技术[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(1): 146-154.
- [3] 赵威, 高强, 邢智慧, 等. 皖北平原河湖水系连通实践及展望[J]. 江淮水利科技, 2019(3): 23-24.
- [4] 王振龙, 章启兵, 李瑞, 等. 采煤沉陷区雨洪资源利用技术研究[J]. 水利水电快报, 2008, 29(S1): 1-3+11.
- [5] 赵博. 采煤沉陷区河湖连通与水生态模式构建综合技术研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- [6] 郑佳重. 宿州市朱仙庄-芦岭采煤沉陷区蓄滞洪效果研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- [7] 王辉. 采煤沉陷区湿地建设与水资源调蓄作用研究[J]. 人民黄河, 2013, 35(7): 51-53.
- [8] 赵少华. 宿州市埇桥区王桥闸防渗排水设计[J]. 水科学与工程, 2021(1): 17-20.
- [9] 周敏. 宿县闸枢纽节制闸现状调查分析[J]. 治淮, 2020(5): 50-51.
- [10] 蒋永奎. 新汴河水资源可利用量及开发利用潜力分析评价[J]. 治淮, 2011(2): 15-16.
- [11] 陈晨, 桂和荣, 梅静梁, 等. 熵权法在煤矿区地表水环境质量评价中的应用[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(12): 124-127.