

湖泊水源地取水工程经济方案论证

——以骆马湖水源地工程为例

华俊

中国市政工程中南设计研究总院有限公司

摘要：骆马湖水源地工程是一项重要的水利工程，本文将以该工程为实际案例，重点介绍和分析取水水源地选址、输水线路选择、施工工艺和管材综合比选等方面。特别是对于大口径沉管的选择，将采用多种方式进行组合比选，以实现工程目标的节约、优质和高效。

关键词：水源工程；选址；大口径沉管；经济比选
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.19.015

一、项目背景

宿迁市位于江苏省北部，南与安徽省搭界，是通往豫、皖、鲁及苏南地区的交通要道，城市总人口约178.11万。目前已陆续建成了四座水厂，总制水能力55万m³/d，基本实现城市的供水保障。

虽然目前水量基本满足宿迁市现状用水需求，但存在供水系统水源单一，应急取水能力不足，现状供水规模不满足城市发展需求等问题。为了上述问题，本项目将新建骆马湖水源地工程（103万m³/d），总投资约4.22亿元。

骆马湖水源地工程取水规模约为103万m³/d，取水头及水源厂位于骆马湖南部水域，采用分层箱式取水头部，通过2根DN2600钢管穿越骆马湖大堤深入骆马湖约3.5km处取水。

二、水源地选址比选分析

水源地选址分析要从水资源可利用性、取水地理位置、工程建设成本、后期运维成本、社会影响等多方面综合考虑。经第三方水资源评估报告论证，选择骆马湖作为水源，供水量和水质均可以满足工程需求。宿迁地处苏北平原，平缓的地形会大大降低输水成本。

评估工程建设成本是经济分析的关键，包括评估取水设施的建设成本、输水管线的敷设成本以及其他配套设施的建设成本。根据水下地形测量资料，拟建取水口分别距骆马湖一线大堤约3.5km、2.3km。

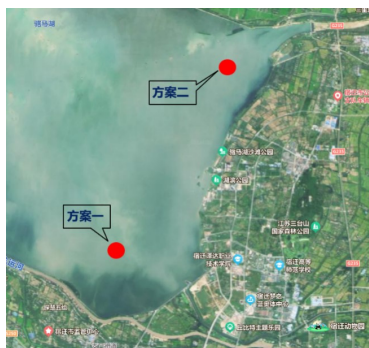


图1 取水头部选址图

方案	主要工程内容	优点	缺点	工程费
方案一	新建水源厂40万m ³ /d 新建取水头部103万m ³ /d, DN2600取水管7km 新建DN1200~DN1400原水管16.9km 新建DN1600原水管22km	1) 管线距离短; 工程造价低; 2) 就近分配给水厂, 漏损水损小、能耗低 3) 建设周期短, 影响范围小	1) 水源保护区内有养殖网箱, 对水质有一定影响 2) 需新建水源地达标建设	12.6 亿元
方案二	新建水源厂103万m ³ /d 扩建取水头部103万m ³ /d, DN2600取水管4.6km 新建DN1200~DN1400原水管12.4km 新建DN2000原水管9.4km 新建DN2600原水管31.6km	远离养殖网箱, 水质有保障 现状扩建可利用已完成的水源地达标建设	1) 水源厂规模增加, 管网长度增加, 投资高; 2) 送水距离远, 漏损水损大、能耗高 3) 建设周期长, 影响范围大	21.6 亿元

工程建设成本要与预期的工程收益进行财务分析，确保选址经济可行。通过财务分析本项目取水收费单价方案一为0.65元/m³，方案二为1.78元/m³，财务各项指标能满足相关要求，项目可行。

通过以上分析，选择投资节约、运营费用低、影响范围小的方案一，作为本工程的推荐方案。

三、取水自流管比选分析

(一) 施工工艺经济比选

常规取水管道埋设方式有开挖管、顶管、沉管。根据上述选址方案比选，取水自流管为2根DN2600取水管深入湖中心约3.5km。取水管从取水头部开始敷设，沿线经过湖底，穿越骆马湖堤防后进入取水泵房。根据水下地形测量，管路沿线湖床较为平坦，最大高差约0.70m。将采用以下三种方案进行比选：

1) 方案一：顶管+沉管方案

利用取水泵房作为顶管工作井，将取水管道顶进穿越骆马湖堤防至骆马湖湖床内，水下开挖将顶管机取出。骆马湖堤防外侧至取水头部采用水下沉管法施工，先进行水下开挖沟槽，在坑底抛碎石整平后，将预先制作好钢管下沉就位，再在管周采用碎石回填，水下抛石维护，最后恢复沟槽至现场湖床标高，沉管断面如下图所示。

2) 方案二：顶管+围堰开挖方案

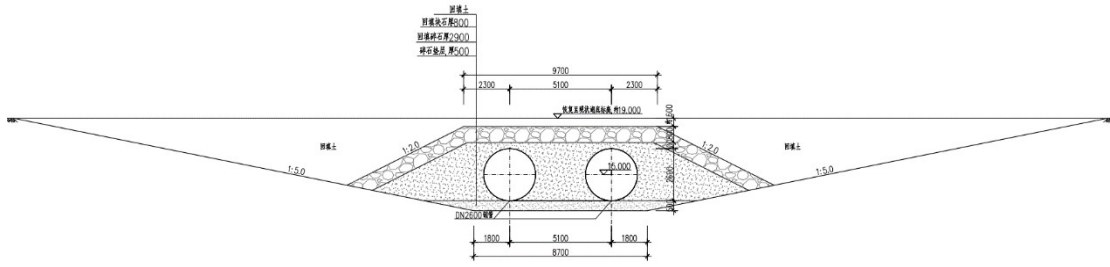


图2 沉管断面图

利用取水泵房作为顶管工作井，将取水管道顶进穿越骆马湖堤防至骆马湖湖床内，开挖取出顶管机。骆马湖堤防外侧至取水头部（包括取水头部）采用围堰开挖方案，选择湖水水位较低时，在管道两侧修筑钢管桩填土石笼围堰，抽水后明挖敷设管道，管道采用砂石基础，碎石回填，顶部干砌块石护管，最后恢复沟槽至现场湖床标高。

3) 方案三：全线顶管方案
 全线采用顶管方案，利用取水泵房作为顶管井，并在堤防外侧一定距离设置顶管井，泵房顶出管道进入该井，为满足顶管覆土要求，骆马湖内管道加大埋深后继续向前顶进，因管道长度较长，施工期间一次顶进较为困难，需在湖中增设顶管井。顶管完成后回填顶管井，并拆除湖床以上结构恢复湖床标高。

方案	主要工程内容	优点	缺点	工程费
方案一	顶管+沉管	<ul style="list-style-type: none"> ◎沉管可以提供稳定的支撑和保护 ◎管道埋深较小 ◎沉管回填材料对湖区生态影响较小 ◎造价最经济 	<ul style="list-style-type: none"> ◎专业性较强 ◎受水流、地质因素影响较大 ◎施工会对水质产生一定影响 	2.31亿元 (综合造价3.30万元/m)
方案二	顶管+围堰开挖	<ul style="list-style-type: none"> ◎管道埋深最小 ◎便于施工人员进行操作 ◎安全系数较高，施工质量容易控制 	<ul style="list-style-type: none"> ◎施工对水质、生态影响极大，无法控制污染 ◎施工许可办理复杂 ◎施工期较长 ◎工程投资最大 	3.67亿元 (综合造价5.24万元/m)
方案三	全线顶管	<ul style="list-style-type: none"> ◎施工期对水质影响较小 ◎施工效率高，减少工期 ◎良好的密封性和稳定性 	<ul style="list-style-type: none"> ◎管道倒虹，易发生沉泥，维护困难 ◎需在湖中间设置顶管井，施工难度大 ◎湖区中部材料运输不便 ◎管道埋深深，后期维护困难 	2.89亿元 (综合造价4.13万元/m)

综上所述：方案一施工工艺较为成熟，管道埋深小，有利于管道维护，工程投资较小；方案二施工期对水质影响较大，投资高；方案三施工难度大，且管道埋深较大不利于后期维护运行，投资较高。综合考虑推荐采用方案一：顶管+沉管方案，综合造价约3.30万元/m。

(二) 管材经济比选

取水管道的管材比选需要考虑多方面因素，如管道施工方式、工作环境、可靠性、经济性等。管材的选择对输水质量、工程造价和输水安全的影响很大，因此，管材的选择十分重要。在管材的经济比选中，要特别注意防腐工艺的不同对造价的影响。

1、防腐钢管

防腐钢管以钢卷板为原材料，经常温挤压成型，以自动双丝双面埋弧焊工艺焊接而成的螺旋缝钢管，优异的机械强度和可加工性能使其在地质条件差和穿越障碍物时具有极大的优势，特别适用于沉管或顶管。为保证骆马湖水质安全及沉管段施工因素的影响，沉管段内防腐为IPN8710防腐涂料（约130元/m²），外防腐为3PE防腐工艺（约180元/m²），由基层到面层分别为

熔结环氧粉末、胶粘剂、挤塑聚乙烯，具有抗机械损伤、稳定性好的特点，特别对本项目沉管回填中的块石具有优异的抗冲击性能，防止防腐涂层遭到破坏。防腐钢管全部采用工厂预制成品，极大提高了防腐的质量。d2620×28钢管除税价信息价约为7700元/吨，钢管每米重量=(外径-壁厚)×壁厚×0.02466=(2620-28)×28×0.024466=1775.64kg/m，综上计算防腐钢管材料单价约为7700×1.776+3.14×2.6×(130+180)=16206.04元/m。

2、球墨铸铁管

球墨铸铁管的原料为生铁，由于通过球化处理并在铸管成型后经过退火处理，从而获得稳定均匀的金相组织，具有较高的抗拉强度和延伸率，其延展性和防腐能力性能优于钢管。相较于钢管的焊接时间较长的缺点，具有施工快速的特点，但本项目因水下沉管段约3.3km，为避免一次性开挖后沟槽回淤造成二次开挖，每根管道沉管施工按七节下沉考虑，每根沉管节长度近500m，如采用球墨铸铁管不仅接口多，而且500m就比钢管重226.34吨，对水上起吊设备提出了更高的要求。K9级DN2600球墨铸铁管管材除税价约为19861.20元/m。

3、预应力钢筒混凝土管

PCCP管是带有钢筒的高强度混凝土管芯缠绕预应力钢丝，喷以水泥砂浆保护层，采用钢制承插口，同钢筒焊在一起，承插口有凹槽和胶圈形成了滑动式胶圈的柔性接头。预应力钢筒混凝土管（PCCP）具有合理的复合结构、承受内外压较高、接头密封性好、抗震能力强、

施工方便快捷、防腐性能好、维护方便等特性。适用于陆地管道铺设，水下沉管如采用PCCP管将有水上运输、吊装困难，接口多水下施工难度大的缺点。d2600预应力钢筒混凝土管管材除税价约为7980.54元/m。

根据上述几种管道特性及施工条件，从工程的重要性、可靠性出发，本项目全部采用防腐钢管施工。

DN2600管材	优点	缺点	质量 (kg/m)	管材除税单价 (含防腐)
防腐钢管	<ul style="list-style-type: none"> ◎可在陆地上焊接接口，水上浮运沉管，水下采用哈夫接口 ◎管材重量较轻，施工灵活，承压好 ◎价格适中 	<ul style="list-style-type: none"> ◎内外防腐技术要求高 ◎焊接质量要求高 	1968.82	16614.24元/m
球墨铸铁管	<ul style="list-style-type: none"> ◎耐腐蚀性优异 ◎使用寿命长 	<ul style="list-style-type: none"> ◎大口径铸造难度大，质量难控制 ◎接口多，水下施工困难 	2421.50	19861.20元/m
预应力钢筒混凝土管	<ul style="list-style-type: none"> ◎使用寿命长 ◎可承受较大的内外压 ◎适应性较强 ◎价格较低 	<ul style="list-style-type: none"> ◎管材重量大，水上运输、吊装难度大 ◎接口多，水下施工困难 	6354.40	7980.54元/m

(三) 沉管水下开挖机械比选

本项目沉管水下开挖土方约45万m³，开挖断面上口宽约50m，长度约3.3km，开挖区域水深约3-5m，区域湖底现状淤泥厚度约0.5-1.5m，局部达到2-4m，弃置距离约2-5km。湖底沟槽开挖成型后由超声波扫描船对水下地形进行扫描，测量出各桩号位置的深度、宽度等工程信息，直至达到设计要求。当采用水下沉管施工时，施工时湖底泛起的淤泥会使水质变差，需要尽量减少对水下土体的扰动，所以选用合适的作业船舶由其重要。该项目适用机械主要为：抓斗式挖泥船、绞吸式挖泥船两种船型。

抓斗式挖泥船是利用抓斗重力放入水中插入泥层并闭合抓斗来抓取泥沙，再提升抓斗出水将泥沙卸入泥仓中。该设备深水作业性好、单斗斗容大、对土质适应能力强、挖深误差小。缺点是生产效率偏低，施工中需抛锚及移位次数多。抓斗式挖泥船采用2014《江苏省市政工程计价定额》，采用抓斗式挖泥船挖泥土及粉细砂运距3km内，经测算全费用综合单价约15.78元/m³。

绞吸式挖泥船是利用装在船上的绞刀切削土壤，吸泥泵将泥浆吸入排泥管，再泵送至指定地点。绞吸式挖泥船物料的挖掘和运送可一次性完成，泥沙经过泥泵和排泥管线，可泵送出几千米以外。缺点是一般无自航能力，机动性差，且挖掘深度受限。由于江苏省市政定额暂无绞吸式吸泥船相关定额，故本次借用江苏省地方标准《内河航道养护工程预算编制办法及定额》（DB 32/T 2174-2012）及《江苏省内河航道养护工程营改增值税计价依据调整方案》（苏交质[2017]20号），绞吸式吸泥船水下挖方及排泥管输送至3km处岸边沉淀池，经测算全费用综合单价约28.56元/m³。

最终该项目选用容易控制挖深及相对经济的抓斗式挖泥船作为沉管开挖机械的选择，可见通过机械形式的

优化比选，仅沉管开挖一项工程就可节约资金约575.1万元。

四、结语

(1) 水源地的选址会直接影响整个供水系统运行工况、管线长度，造成投资浪费，需在前期研究阶段进行论证；

(2) 提早做好水下地形探查，摸清湖底水下地形情况，沉管选线应选择水底较平坦区域，防止后期因管道改线造成投资增加；

(3) 大管径沉管采用成品防腐钢管，在施工质量控制、工期都优于预应力钢筒混凝土管、球墨铸铁管；

(4) 淤泥处置地块尽靠近岸边低洼地，避免长距离运输带来的污染及费用问题。由于湖底淤泥营养成分含量较高，基本无污染，可将泥水分离干化后的淤泥用于周边景观种植土，经沉淀后的上清液排至原湖区内。在经济测算时合理估算处置场的用地费用、整理费用、施工便道等相关费用。

通过以上工程的实际应用案例，对取水头部选址、管材选择、施工工艺、施工机械等关键技术经济问题进行了分析比选，其经验可供类似工程借鉴和参考。

参考文献

[1] 《给水排水设计手册》编委会. 给水排水设计手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
 [2] 罗靖. 惠州市东江引水一期长距离输水管道工程管材优化比选分析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(23): 107-109.
 [3] 张亚国. 长距离输水工程综合评价: 以武威市国际陆港供水工程为例[J]. 水利水电快报, 2021, 42(9): 70-73.
 [4] 袁煦, 全兴. 距离大口径自流管道施工关键技术探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(20): 114-117.