

西安市西南郊水厂引水工程设计

龚沛¹ 蒋治平²

1. 中国市政工程西北设计研究院有限公司; 2. 北京市市政四建设工程有限公司

摘要:针对西安市西南郊水厂引水渠道供应量不足的问题,进行了西安市西南郊水厂引水工程设计。通过对黑河系统水资源现状及水厂近期规模分析,西安市西南郊水厂引水工程供水水源选定为黑河引水系统引渭济黑和石头河,引水规模为 $5\text{m}^3/\text{s}$ 。引水管道工程方案采用拆除现有退水渠,新建取水口及退水渠。本文通过引水规模确定、引水管道工程方案论证、工程设计与施工等方面对引水工程的设计方案进行阐述和分析,以期为其他引水工程设计提供参考借鉴。

关键词:西南郊水厂; 水源分析; 引水工程; 管道铺设; 工程设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.12.076

一、引言

西安市西南郊水厂是西安市“十三五”期间建设的大型水厂,主要解决三星工业园、长安通讯园、高新扩展区、沣东新城、沣西新城以及西安市主城区的用水问题。西南郊水厂的建设运行不仅是保证西咸新区沣东、沣西新城以及高新区、三星存储项目供水安全可靠性的基础,同时是缓解西安市主城区供水压力的有效措施^[1]。

西安市西南郊水厂位于西安市庞光镇将军山附近,水厂设计规模 $100\text{万m}^3/\text{d}$,一期规模 $40\text{万m}^3/\text{d}$,西南郊水厂工程(一期)初步设计于2015年4月得到市发改委批复,已于2016年6月开工建设,目前工程建成投运,原水暂时从现状黑河渠道引出,黑河引水系统原输水渠道建成以来已安全运行近24年,黑河引水工程设计配建水厂规模为 $110\text{万m}^3/\text{d}$,目前利用现状引水渠道为原水的水厂规模已增加至 $147\text{万m}^3/\text{d}$,现状渠道已无法增加负荷,无法满足新建西南郊水厂的原水需求^[2]。

新建引水工程解决西南郊水厂一期工程原水水源供应问题刻不容缓。建设西南郊水厂引水工程对解决西安市西南郊水厂一期工程的原水水量不足问题,保证水厂的正常运行,发挥水厂投资效益,扩大城市供水能力,提高城市供水安全性和保证率,促进西安市经济社会协调、可持续发展具有重要作用。

二、项目概况

西安,古称长安、镐京,陕西省省会、副省级市、国家区域中心城市(西北),是国务院批复确定的中国西部地区重要的中心城市。

西安地区自古有“八水绕长安”之美誉。市区东有灞河、浐河,南有潏河、涝河,西有涝河、沣河,北有渭河、泾河;此外还有黑河、石川河、涝河、零河等较大河流。降雨是地下水的主要补给来源。全市地表水资源总量 19.73亿m^3 ,地下水资源总量 14.32亿m^3 ,扣除地表水和地下水之间的重复量,全市水资源总量 23.47亿m^3 ^[3]。全市共建有水库93座,其中大中型水库3座,小型

水库90座。

西安市城市供水事业经过六十五年的发展建设,截至2018年底,已开辟集中供水水源20处,其中地表水源5处,地下水源15处,地表水源水厂12座,地下水源水厂11座,另外还有自备水源若干处。全市已形成了 $262.1\text{万m}^3/\text{d}$ 集中供水能力(不包含自备水源),随着黑河供水系统和李家河供水系统的建设,基本满足了西安当前的用水需求^[3]。引汉济渭工程的实施将为西安今后一段时期社会经济发展和市民生活对供水的需求打下坚实基础。根据西安城市总体规划(2008-2020年),西安市主城区2020年人均综合用量指标 $0.35\text{万m}^3/\text{万人}\cdot\text{d}$,供水能力约 $300\text{万m}^3/\text{d}$ 。

工程沿线主要穿越秦岭北麓渭河的一级或二级支流,其主要沟道为黄池沟、就峪河、田峪河、甘峪河、涝河、谭峪河等。流域内植被良好,河流的含沙量小。

三、引水工程水源及规模确定

(一) 引水水源分析

西安市供水事业经过六十多年的发展,已建成以黑河系统水源及李家河系统水源为主,地下水源为辅的多水源联合供水系统。随着引乾济石、引渭济黑、石砭峪供水复线等水利工程的相继建成,黑河供水系统现有年可利用水资源量进一步提高。黑河系统水源包括黑河金盆水库、石头河水库、石砭峪水库、引渭济黑工程、引乾济石工程、高冠峪水库(规划)、太平峪河、田峪水库(规划)。

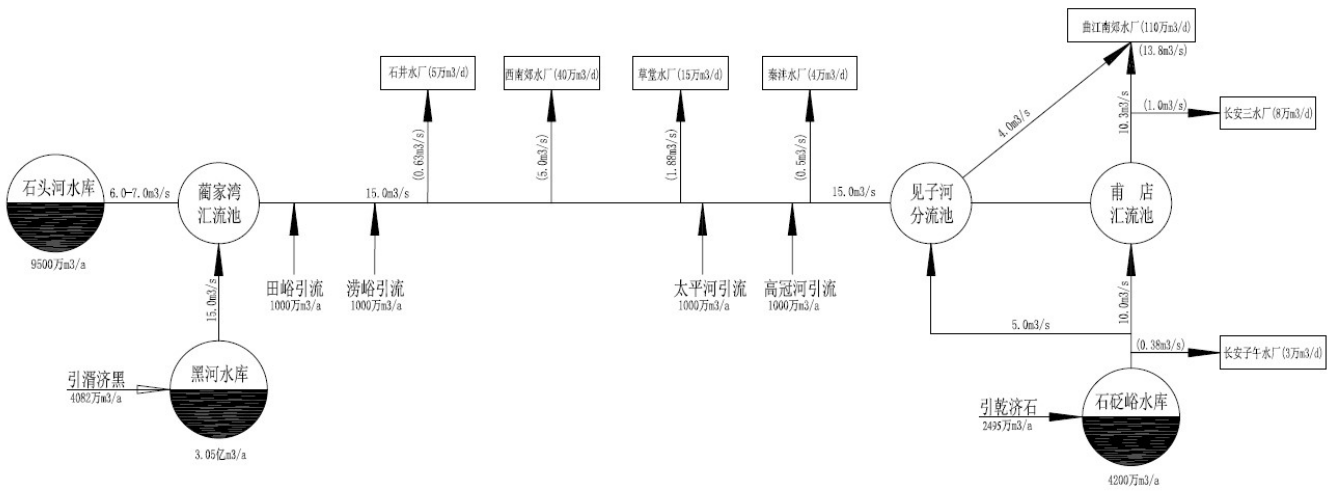
由于引汉济渭工程建设相对缓慢,近期西安市城市供水水源仅能充分利用黑河系统富余水资源。结合上述分析,现状黑河系统可供水资源量为 5.4777亿m^3 ,现状黑河系统水厂年水资源需求量为 4.502亿m^3 ,富余量水资源约 9760万m^3 ^[2]。现状黑河引水渠道全长 86.061km 。其中蔺家湾汇流池至长安见子河分流池为单线暗渠,设计流量为 $14.0\text{m}^3/\text{s}$,校核流量为 $15.0\text{m}^3/\text{s}$ 。

现状引水渠道蔺家湾汇流池上游石头河水库供水富余量约为 6000万m^3 以及引渭济黑工程可利用水量约为 4000万m^3 ,此部分富余水资源基本可满足西南郊水厂近期 $40\text{万m}^3/\text{d}$ 规模的原水需求,但由于现状渠道引水能力的限制,无法通过现状黑河渠道输送至西南郊水厂,故需要新建引水通道已满足水厂原水需求。根据《引汉济渭输配水干线工程总体规划》引汉济渭项目建成后,石头河不在向黑河系统供水,此部分水量缺口由引汉济渭承担^[4]。

综上所述,本工程近期水源为现有黑河引水系统引渭济黑和石头河供水,远期为引渭济黑和引汉济渭。

(二) 引水规模确定

西南郊水厂近期规模为 $40\text{万m}^3/\text{d}$,最高日平均时流量为 $4.62\text{m}^3/\text{s}$ 。西南郊水厂建成有废水处理回用设施,根据规范要求^[5],结合类似工程经验,水厂自用水水资



注：括号外数字标示渠（管）道设计能力，括号内流量表示水厂最大需水流量。

图1 黑河系统水源与水厂关系图

源需求量按设计水量的1%计，引水管道漏损按设计流量的3%计，确定设计流量为 $4.82\text{m}^3/\text{s}$ 。设计时考虑一定的富余量，本工程设计流量为 $5\text{m}^3/\text{s}$ 。

四、引水管道工程方案论证

本工程起点为蔺家湾汇流池，现状蔺家湾汇流池直径18m，池深4.3m，池顶高程514.5m，池底板顶高程510.2m，运行水位513.42m，本次设计引水量为 $5\text{m}^3/\text{s}$ ，为减少对现状汇流池的影响采用单孔取水。结合管理站内既有设施的布局和运行情况采取如下两种方式：

(1) 在现状汇流池东北侧空地布置取水口。取水

口与汇流池中心点重合，与西安市黑河引水渠道轴线呈 50° 夹角。取水口分为引水渠道、格栅段、消力池三部分，采用开敞式闸口，新建取水后与现状黑河引水口中间设施导流堆，减少对流态的影响。

(2) 在退水渠上新建取水口。蔺家湾汇流池现状退水渠出水口为矩形，尺寸 $B \times H = 2.0\text{m} \times 3.8\text{m}$ ，内底标高510.2m，设计流量为 $15\text{m}^3/\text{s}$ 。本次设计引水量为 $5\text{m}^3/\text{s}$ ，退水渠流量大于设计引水流量，在退水渠道上开口取水满足项目需求。

综合考虑施工难易程度和现状供水安全保障等因

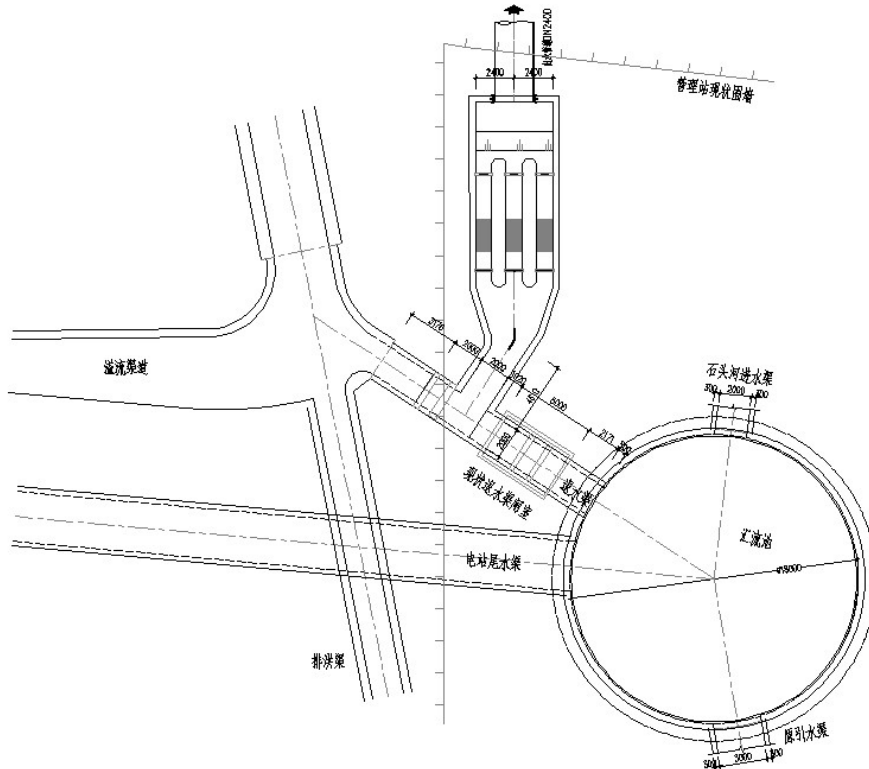


图2 退水渠上新建取水口平面布置

表1 取水口方案对比

方案名称	方案一	方案二
方案描述	从现状汇流池东北角开口，修建引水渠、格栅、消力池等，引水管道从消力池引出后向北敷设。	拆除现状退水渠道闸室后的退水渠，新建取水口及退水渠。取水口后修建格栅、消力池等，引水管道从消力池引出，先向西敷设穿越石头河管道后向北敷设。
主要工程内容	(1) 新建引水渠、格栅、消力池 (2) 拆除现状厨房85.6m ² (3) 现状汇流池进行开口施工，开洞面积为8.6m ² ，	(1) 拆除现状退水渠道闸室后的退水渠2.0×2.0，长8.2m。 (2) 拆除现状围墙35m，迁移现状乔木3颗。 (3) 新建引水渠、格栅、消力池。 (4) 改造现状退水渠，增设电动调节闸板。
工期	现状汇流池开口约需要15天，应避开汛期以及供水高峰期，整个完工不小于120天。	退水口改造约15天，应避开汛期，整个完工不小于180天。
工程主要措施	(1) 对现状汇流池进行开口施工时，由于现状汇流池较小，围堰设置较为困难，宜降低水位运行，池内水深不宜大于2.0m。 (2) 现状渠道引水量约为8m ³ /s，无法满足城市正常供水需求，需利用石砭峪水库临时补水约600万。	(1) 利用电站尾水渠进水闸，控制进入汇流池流量，关闭汇流池退水闸，确保在施工期间汇流池不退水，利用尾水渠进水闸前溢流堰将富余水量进行排除。 (2) 协调石头来水，较小水量变化，减少水量进水闸调节次数，同时在下穿石头河原水管道时宜进行临时停水。
工程费用	623万元	546万元
优点	(1) 管线向北敷设顺畅； (2) 引水保证率高，可避免与现状石头河进水管交叉；3. 总工期较短。	(1) 避免改造现状汇流池，不会对正常供水造成影响，施工安全； (2) 对现状管理站设施改动较小。
缺点	(1) 需对汇流池进行改造，施工难度及风险较大，需进水停水或者降规模运行，对正常生产影响较大。 (2) 需对现状管理站食堂进行拆除。	(1) 需穿越现状石头河供水管道。 (2) 需对退水渠进行改造时间较长，对生产有一定影响。

素，取水口方案建议采用方案二。本工程近期水源为现有黑河引水系统引涇济黑和石头河供水，远期为引涇济黑和引汉济渭，存在原水水源切换，随着引汉济渭工程的实施，应同步修建引汉济渭北干线与本工程的连接工程，同时修建引水隧道以及联通渠道，实现黑河原水与引汉济渭来水的联通，实现事故情况下的引汉济渭来水可利用现状黑河渠道进行输送，满足下游水厂原水需求，引汉济渭停水检修时，可利用黑河水库应急供水，满足以引汉济渭来水为水源水厂的原水需求，提高供水安全保障。

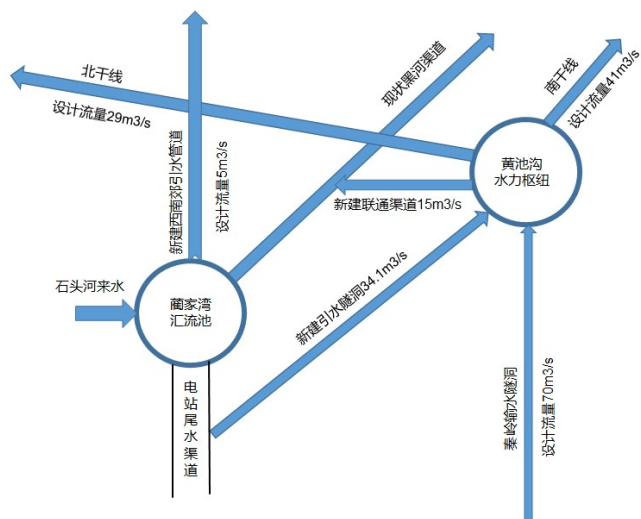


图3 黑河引水系统与引汉济渭工程联通示意图

五、工程设计与施工

(一) 取水口设计

根据现有曲江水厂和南郊水厂几年来的处理情况，黑河原水中存一定树枝、树叶等漂浮物，其中以腐殖质为主。漂浮物以汛期期间最多；夏收期，水中带有大量麦秆和麦壳。为保证后期管道附属设施以及其调流阀的安全有效运行，同时减轻水厂大型杂质的去除压力，因此，需在取水口内设置格栅间进行预处理。

取水口分为引水渠、格栅间和消力池三部分，引水渠道长4.6m，引水渠道后接格栅，格栅段长度8.5m，格栅后接陡坡段，陡坡段后即长3.0m消力池。

(二) 引水管道

西安市西南郊水厂原水引水工程，引水管道总长约42.546km，设计引水流量5m³/s，设计管径DN2400mm压力管道，单根管道输水，管材主要为球墨铸铁管，局部采用钢管^[6]。

1. 管道线位

引水管道平面线位基本沿旅游环山路以南大致20米处布置。根据沿线走线及建设沿线设施的分布，该方案线路布置分三段描述，具体布置如下：

第一段：汇流池～环山路南侧。线路从蔺家湾汇流池东北方向开口取水，与原黑河输水渠道轴线成50°夹角，从汇流池管理办公楼东侧沿东北方向，拐向黑河右岸河堤路西侧，沿黑河右岸河堤路西侧向北布设，先后穿越黄池沟、黑惠渠东干渠，再沿黑河右河堤布设到环山路南侧。

第二段：从黑河右岸河堤路~柳泉河右岸，平行于环山路并与其相距20m左右，从现状团标收费站管理区广场自西向东穿越，布置于现状办公楼北侧，现状加油站局部向南偏移10m左右，而后继续向东穿越柳泉河，穿越柳泉河至柳泉村处穿越环山公路。

第三段：柳泉村~西南郊水厂，位于环山路北侧200~950m，主要位于农田内敷设，管道基本敷设于现状黑河渠道的北侧，与现状黑河渠道不交叉，向东敷设穿越曲峪河接入西南郊水厂总进水井。

2. 顶管施工

引水管道穿越环山公路时，结合纵断埋深要求，对穿越环山公路段采用顶管法^[7]进行施工。

由于输水管道直径为2.4m，故采用D3500mm圆形混凝土管进行顶进，待顶管施工完后，在顶管内再敷设DN2400钢管输水管道。具体工程措施如下：

顶管采用直径3.5m成品钢筋混凝土III级管，刚度等级不应小于15kPa，管材接头锚固所用钢板材料等级不应小于Q235，防腐层厚度不小于0.2mm，钢板厚度不小于10mm，混凝土等级为C50，抗渗等级为P8，单节管长2.5m，顶管接头采用柔性接头C型钢承口形式，密封胶圈采用双胶圈防水，顶进结束后两根管之间缝隙采用20mm厚聚硫密封膏填缝。

工作井顶管洞口填缝待顶管工作完成后按要求进行橡胶板止水穿墙管施工；接收井接收管道与井壁衔接时，管口周围用油麻沥青砂填实，两端用聚硫密封膏（抗微生物型）封口，宽度为20mm。

节点井顶管洞口处，应采取土体加固措施，保证洞口周围土体稳定^[8]。顶管进出洞口处，应设置止水装置，防止顶管施工过程中地下水从顶管进出洞口缝隙流入顶管工作井。顶管完成后，应及时对顶管外侧空隙进行注浆填充，以防止上部路面、管道或构筑物出现沉降变形。

3. 明挖导流施工

引水管道自黑河汇流池向北至环山公路后，沿途穿越黄池沟、马岔河、就峪河、塔峪河、田峪河、赤峪河、大曲河、大耿峪河、白马河、柳泉河、甘峪河、涝河、皂峪河、抱峪河、谭峪河及曲峪河等多条河流。根据河床深度、河道宽度、河流冲刷深度及管道纵段高程等确定管道采用下穿方式穿越河流，采用明挖导流施工^[9]。

在枯水期采用明挖导流实施，在河道中间设置挡水围堰，进行内部沟槽开挖及管道施工；待该段管道施工完后，再拆除一期围堰，重新修建二次围堰，施工剩余部分管道，施工完后再拆除河道内围堰。

管道穿越河岸处保证管道从河堤底部穿越，上弯点和下弯点均需布置在河堤外侧，以保证河堤稳定^[10]。管道穿越河流段采用钢管，在管道上下弯头处均需设置弯头支墩，在河堤及河道下部管道需进行包封处理，包封混凝土沿长度方向需设置沉降缝，缝间距不大于20m。

4. 浅埋暗挖施工

引水管道穿越西汉高速时，因高速公路不同于一般道路，不具备临时导改的条件，同时为有效控制施工穿

越过程中的路面沉降，故对穿越西汉高速段采用浅埋暗挖法^[11]进行施工。

浅埋暗挖法主要由初次支护和二次衬砌组成。初次支护按承担全部基本荷载设计，二次衬砌作为安全储备；初次支护和二次衬砌共同承担特殊荷载。同时采用多种辅助工法，超前支护，改善加固围岩，调动部分围岩的自承能力；并采用不同的开挖方法及支护、封闭成环，使其与围岩共同作用形成联合支护体系^[12]。

浅埋暗挖法施工时，需在西汉高速两侧设置工作井，以满足施工要求。根据道路保护条例要求，西汉高速保护范围为路基外侧30m范围内不应建造地面上建筑物，考虑暗挖工作井位临时地下构筑物，工作井至道路边避让距离按15m考虑，故顶管工作坑和接收坑布置在道路路基外侧15m以外处，顶管段总长度约76m；暗挖位与西汉高速垂直相交。由于暗挖施工需保证一定覆土深度，且为避免暗挖施工对现状道路的影响，故在暗挖段管道纵向需降低，以满足初次支护距路面深度不小于6m。

西汉高速路基为人工地积。路基以下2.8m为砂卵石层，地下水位深20m。可采用喷射混凝土和钢架为初期支护，以模筑钢筋砼衬砌为二次衬砌组成，初期支护与二次衬砌间设全封闭防水隔离层。开挖前拱部大管棚结合超前小导管注浆预加固地层。

（三）管材选择

本工程拟选管道管径为DN2400，管道压力1.0MPa，管道敷设区域为8度设防区域，拟选管材应具有较好的延性管道或者采用承插式连接的管道，接头填料宜采用柔性材料，根据类似工程和《室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范》^[13]、《城镇供水长距离输水管（渠）道工程技术规程》^[14]的要求可选的管道主要有球墨铸铁管（DIP）、预应力钢筒混凝土管（PCCP）、钢管（SP）等。

球墨铸铁主要特点是具有卓越的承压能力，使用寿命长，采用橡胶圈接口，柔性较好，对地基适应性较强，抗震性能高。具有良好的防腐性能，且重量轻、安装快，施工简单迅速。其主要缺点是价格较高，重量较钢管重^[15]。

预应力钢筒混凝土管具有承受内外压较高、接头密封性好、抗震能力强、维护方便等特性，但其重量较大，运输和施工不太方便；且无成品的管道配件需要由钢板制作，费用较高，不易加工。

钢管具有耐高压、高抗渗性、连接方便、可设计性强、抗轴向拉力大、重量轻、施工安装方便等特点。主要用于地质复杂、压力较高区段，其主要缺点是防腐性差，对钢管的寿命有影响明显，需通过强化管道内、外均需做除锈和防腐处理。

根据管道水锤分析计算，本工程最大正向水锤为0.7MPa，管道压力等级选用1.0MPa，管材主要选用K9级球墨铸铁管，接口为T型接口（或其改进型）；弯头管件薄弱点适当加强，弯头选用K10级球墨铸铁管件。穿越河谷段和穿越道路段等特殊部位均采用钢管，管径2.4m。覆土不大于3.5m的区段拟采用Q345级碳钢，壁厚

表2 埋地钢管防腐做法

施工表面	涂层	涂料品种	道数/干膜厚度 (um)
内壁	底涂层	无溶剂环氧玻璃鳞片防腐中间漆	2/80
	面涂层	无溶剂饮用水专用涂料	3/120
	涂层总干膜厚度 (um)		200
外壁	底涂层	无溶剂环氧树脂高防腐底漆	2/80
	中间涂层	无溶剂环氧玻璃鳞片防腐中间漆	2/80
	面涂层	无溶剂环氧树脂防腐漆	6/240
	涂层总干膜厚度 (um)		400

22mm；覆土大于3.5m但不大于7m的区段拟采用Q345级碳钢，壁厚32mm。

(四) 管道防腐

球墨铸铁管：内壁采用采用水泥内衬方式^[16]，外壁采用喷锌+高氯化聚乙烯饰层。

钢管：内防腐选材必须适用于生活饮用水，除锈应采用喷射清理^[17]，除锈等级应达到GB/T8923规定的Sa2.5级；不便于喷射除锈的部位，可采用手工和动力工具除锈，但除锈等级应达到GB/T8923规定的Sa3级。采用国际标准【色漆和清漆—防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护】【ISO12944】内防腐层厚度不小于200um，外防腐采用环氧煤沥青作为埋地钢管的外防腐涂料，难点部位可采用聚氨酯防腐或环氧玻璃钢防腐^[18]。

六、结论

西南郊水厂引水工程起点为蔺家湾汇流池，终点为西安市西南郊水厂总进水井，引水规模40万m³/d。经过水资源现状分析，在引水工程中采用黑河系统富余水资源作为用水原水，预留引汉济渭水源作为原水的连接工程空间，并采用单管引水，管径DN2400mm，总长度约42.5km，设计引水流量5m³/s。工程建设过程中，结合引水工程管线沿线走线及建设沿线设施的分布的特点对穿越环山公路、河流和西汉高速等重点控制性工程的技术方案进行优化和创新，采用顶管、明挖导流和钱埋暗挖等施工方式，完成西南郊水厂引水工程的建设，对其他类似工程具有借鉴意义。通过对西南郊水厂引水工程的建设，黑河引水系统日供水能力由110万吨提高到150万吨，有效提升了西安市供水能力。

参考文献

- [1]张鹏程. 西安市西南郊水厂工程可行性分析与处理工艺优化研究[D]. 陕西: 西安建筑科技大学, 2012.
- [2]刘玘玘, 李伟红, 赵雪. 西安市引汉济渭与黑河引水工程多水源联合调配模拟[J]. 水土保持通报, 2020, 40(01): 136-141.
- [3]武学军. 西安市城市污水再生回用研究[D]. 西安建筑科技大学, 2005.
- [4]黄葵, 张楠, 吕龙龙, 等. 引汉济渭调水系统工程

规模论证[J]. 人民黄河, 2014, 36(4): 65-68.

[5]GB50013—2018. 室外给水设计规范[S]. 北京: 中华人民共和国建设部, 2018.

[6]李静茹. 高平市张峰供水东延工程一期输水线路设计简述[J]. 山西科技, 2015(5): 4.

[7]郭福龙. 市政综合管道穿越障碍物顶管施工设计和应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(14): 4.

[8]李剑, 张鹏, 李志宏. 顶管施工润滑泥浆压力引起的土体附加应力计算[J]. 地质科技情报, 2016, 35(2): 23-27.

[9]贺跃宾, 唐永福, 张林, 等. 明挖地下隧道下穿河流施工技术[J]. 建筑技术, 2017, 48(006): 655-657.

[10]柳瑞海, 白旭峰, 渠元闯, 等. 输水管道穿越跨海长堤设计方案比选与探讨[J]. 中国给水排水, 2018, 34(14): 5.

[11]罗向斌. 浅埋暗挖法在供水管道安装工程中的应用[J]. 中国给水排水, 2009(24): 107-110.

[12]孟庆军, 周峰, 王海波, 等. 盾构法与浅埋暗挖法隧道并行施工隔离加固技术[J]. 公路, 2020.

[13]GB50032—2003. 室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范[S]. 北京: 中华人民共和国建设部.

[14]CECS193: 2005. 城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程[S]. 长春: 中国市政工程东北设计研究院.

[15]姚园园. 长距离输水工程管材性能分析研究[J]. 山西水利, 2017, 33(9): 14-15, 17.

[16]姜海, 裴计田, 郑金录, 等. 聚脲内衬管道的防腐蚀性能[J]. 腐蚀与防护, 2019.

[17]郭浩, 田一梅, 张海亚, 等. 铁质金属供水管道的内腐蚀研究进展[J]. 中国给水排水, 2020, 36(12): 6.

[18]崔博文. 南水北调原水管道工程的设计与研究[D]. 天津大学, 2012.

作者简介: 龚沛(1981-), 男, 新疆昌吉人, 满族, 本科, 高级工程师, 工作方向: 给水排水相关方向及综合市政方向。