

DOI: 10.11779/CJGE2016S1012

# 南水北调中线郑州1段工程防渗及排水设计研究

张艳锋, 侯咏梅, 张婷婷

(黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

**摘 要:** 南水北调中线总干渠为 I 等工程属特大型输水工程, 本渠段设计流量  $285 \sim 265 \text{ m}^3/\text{s}$ , 加大流量  $345 \sim 320 \text{ m}^3/\text{s}$ 。根据中线郑州 1 段的地形及气象、水文地质等条件, 对总干渠的防渗及排水设计进行了有针对性的研究、计算及设计, 提出了一套完整的设计思路及方案, 截止目前中线郑州 1 段总干渠运行情况良好, 表明本设计方案的可靠性及优越性, 为以后的大型输水干渠的设计提供一定的借鉴。

**关键词:** 中线郑州 1 段; 防渗; 排水; 设计研究

中图分类号: TU43; TV543

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2016)S1-0069-05

**作者简介:** 张艳锋(1984-), 男, 河南商丘人, 工程师。E-mail: 253820271@qq.com。

## Zhengzhou 1<sup>st</sup> section of The South-to-North Water Diversion Project engineering seepage control and drainage design research

ZHANG Yan-feng, HOU Yong-mei, ZHANG Ting-ting

(Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** The main canal of the middle route of South to North Water Diversion Project for 1st class projects belong to over-sized of the water conveyance project, the canal section of the design flow rate of  $285 \text{ m}^3/\text{s} \sim 265 \text{ m}^3/\text{s}$ , increase the flow rate of  $345 \text{ m}^3/\text{s} \sim 320 \text{ m}^3/\text{s}$ . According to the middle route of Zhengzhou 1st section of terrain and meteorological, geological condition, main-canal seepage control and drainage design for the targeted research, calculation and design, puts forward a complete set of design thinking and scheme, so far the middle route of Zhengzhou 1st section of main canal running in good condition, show that the reliability and superiority of design scheme, for the following as a reference for the design of large water main canal.

**Key words:** Zhengzhou 1st line; seepage control; drainage; design research

## 0 引 言

渠道防渗是我国目前应用最广泛的节水工程技术, 常用土料、水泥土、石料、混凝土、沥青混凝土和膜料等材料作为渠道防渗层, 达到防止渠道渗漏的目的。近 20 年来, 渠道防渗工程技术引起普遍重视并得到迅速发展, 在防渗材料、防渗断面结构形式和防治冻胀技术方面取得了许多研究成果。目前, 渠道防渗由单一材料向复合材料、由单一结构向复合结构和由以人工施工为主向机械化半机械化方向发展。南水北调中线工程采用膜料作为渠道防渗的关键方式, 混凝土衬砌起到压重和降糙的作用<sup>[1]</sup>。

## 1 中线郑州 1 段工程概况

郑州 1 段工程, 为南水北调中线一期工程总干渠沙河南~黄河南段工程的设计单元之一。工程位于河南省郑州市中原区境内, 起点接郑州 2 段终点, 位于

郑州市郑湾附近, 桩号为 SH201+000; 终点接荥阳段起点, 位于郑州市董岗附近, 桩号为 SH210+773, 渠段线路总长 9772.97 m。其设计流量  $285 \sim 265 \text{ m}^3/\text{s}$ , 加大流量  $345 \sim 320 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

### 1.1 地形地质条件

郑州 1 段位于岗地与平原的过渡地带。地势总体呈西高东低, 北高南低的特点。本区上部以黄土状轻粉质壤土、黄土状中粉质壤土为主; 下部以黄土状重粉质壤土为主。

### 1.2 水文地质条件

#### (1) 地下水分类

本区地下水按其赋存条件及性质可分为孔隙~裂隙水与孔隙水两种类型。

桩号 SH201+000—SH202+505 段, 为渠道穿越河谷段, 地下水位埋藏较浅, 河床及河漫滩地下水位

高程 108.92~110.10 m, 埋深 0.58~1.2 m, I 级阶地  
地下水位高程 108.73~110.76 m, 埋深 2.34~6.68 m。

(2) 地下水动态变化特征

根据附近长观井资料与勘察观测成果进行类比, 综合分析, 本渠段多年年平均水位变幅一般 0.37~1.61 m, 年内水位变幅一般 1.1~2.4 m; 丘陵区潜水多年年际平均水位变幅 0.9~2.0 m, 年内水位变幅一般 1.8~4.2 m。

2 中线郑州 1 段工程渠道情况

郑州 1 段总干渠明渠段采用梯形断面。根据总干渠沿线各渠段水位、渠底高程与地面高程的相对关系, 横断面型式可分为全挖方断面、全填方断面、半挖半填断面 3 种类型。典型断面图见图 1~3。

3 渠道防渗及排水设置

3.1 渠道衬砌结构型式

本工程采用过水断面采用现浇混凝土结构: 底板 8 cm、渠坡 10 cm, 并设置横向及纵向缝; 填缝采用聚硫密封胶及聚乙烯泡沫塑料板。

3.2 防渗设置

(1) 渠道防渗

根据渠道不同土层的渗漏能力, 可划分为强、中、弱渗透性。渗透系数大于  $1\times 10^{-3}$  cm/s 的土层属强渗漏; 渗透系数为  $1\times 10^{-5}$  cm/s~ $1\times 10^{-3}$  cm/s 的土层属中等渗漏; 渗透系数小于  $1\times 10^{-5}$  cm/s 的土层属弱渗漏。本工程渠基为中等透水性的渠段总长约 0.5 km, 位于贾鲁河、贾峪河河道内, 属砂壤土层; 其余渠段

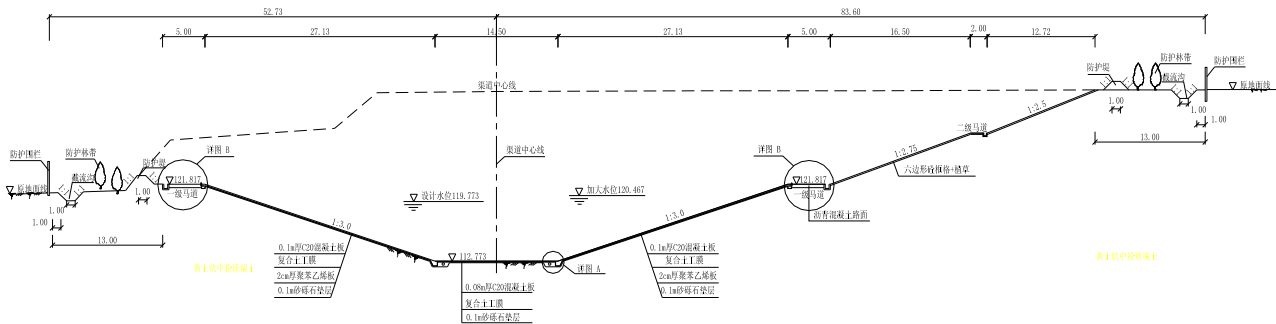


图 1 渠道全挖方断面典型布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of channel excavation section of a typical layout

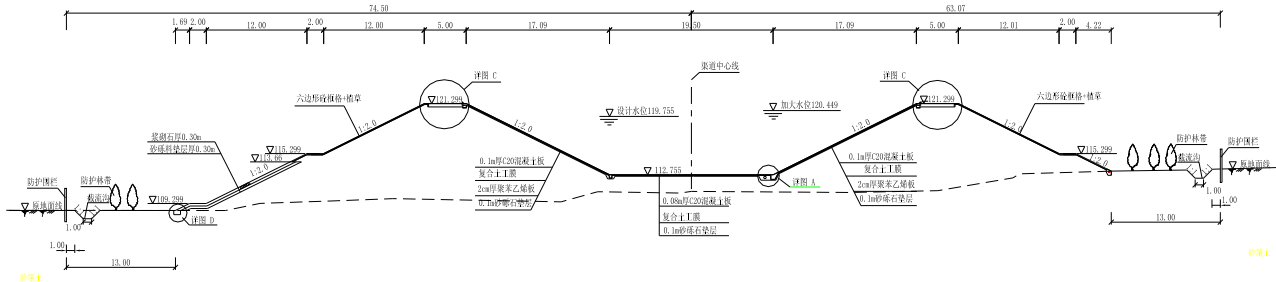


图 2 渠道全填方断面典型布置示意图

Fig. 2 Channel fill section typical layout

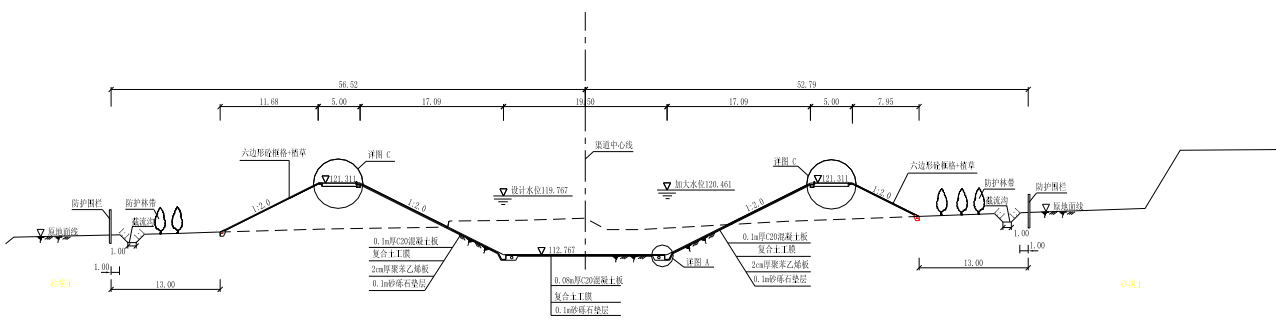


图 3 渠道半挖半填断面典型布置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of typical layout of half excavated section of canal

地层岩性属黄土状粉质壤土或粉质壤土, 渗透系数大于  $1 \times 10^{-5}$  cm/s, 属中透水层。

根据有关技术规定, 对于一般的土质渠段主要采用混凝土衬砌, 对于渗透系数大于  $1 \times 10^{-5}$  cm/s 的土质渠段, 需设置土工膜加强防渗。因此, 本渠段全部采用板膜复合式结构。

## (2) 土工膜

国内外土工膜原材料主要有两种: 聚乙烯 (PE) 和聚氯乙烯 (PVC), 通过对土工膜力学性能、可连接性及经济性进行比选, 根据有关规定, 设计采用聚乙烯膜 (PE) [2-3]。为了增加 PE 膜的摩擦性能和力学性能, 替代 PE 膜的垫层材料, 方便施工, 选择复合土工膜, 复合土工膜解决了土工膜存在的不均匀性、施工时易产生漏洞等缺陷, 膜两侧的土工织物兼有反滤排水的作用, 保证土工膜及衬砌的稳定性。

本段渠道根据规定 [2] 和衬砌混凝土板抗滑稳定要求, 采用抗老化双面复合土工膜作为防渗材料, 复合土工膜规格为  $600 \text{ g/m}^2$ , 其中土工膜厚 0.3mm, 双面土工布为长纤土工织物, 规格为  $150 \text{ g/m}^2$ 。

### a) 铺设方式

复合土工膜采用焊接方式, 其搭接宽度不小于 10 cm。土工膜与渠基间设 10 cm 厚的砂砾石过渡层。复合土工膜采用埋藏式铺设, 坡底压在坡脚齿墙下, 顶部压在混凝土封顶板下的矩形槽中, 矩形槽中回填土压实。

### b) 土工膜的固定

结合相关工程经验, 在设计上坡顶土工膜采用了埋入固定沟固定。因土工膜的破坏应变能力远大于土体的破坏应变, 只要边坡稳定, 土工膜及其上部保护层沿支持层面滑动一般不会发生。

## 3.3 渠坡排水设置

### 3.3.1 排水方案的确定

本渠段在桩号 SH208+000 前预测地下高水位普遍高于渠底板, 但低于渠道设计水位, SH208+000 之后预测地下高水位均低于设计渠底; 同时, 在桩号 SH202+500 前实测最高水位亦高于渠底板, 桩号 SH202+500 后除在本小段起点附近观测到地下水位, 其余勘探孔均未遇见地下水位。本段地下水基本无腐蚀性, 排水采用内排设计。综合以上地下水位分布情况, 为保证渠道衬砌在运行和检修期的稳定性, 渠段采用全线设置逆止阀, 并在桩号 SH202+500 前地下水位较高段 (除全填方渠段) 设置集水井辅以移动泵抽排的排水方案。

### 3.3.2 排水计算

中线渠道采用全断面混凝土衬砌并铺设复合土工膜, 设计中不考虑渠水外渗情况, 排水计算主要包括

地下水渗出量、排水设施的出流量以确定排水结构的布置。

#### (1) 计算条件

选择对工程最不利的水位组合, 即地下水位为预测多年最高水位, 渠内无水, 此时暗管集水量为最大。

#### (2) 暗管集水流量计算

采用设计手册中适用于在潜水含水层、集取地下水的非完整式管状渗渠计算公式 [4]。

a) 集取地下潜水的非完整式渗渠出水量

计算公式如下:

$$Q = LK \left( \frac{H_1^2 - h_0^2}{2R} + S q_r \right) \quad (1)$$

式中  $Q$  为渗渠出水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ );  $L$  为渗渠长度 (m);  $K$  为渗透系数 (m/d), 对层状土渗透系数转化为各向同性土的渗透系数;  $S$  为水位降深 (m);  $H_1$  为渗渠底至静水位的距离 (m);  $h_0$  为渗渠内水深 (m);  $q_r$  为根据  $\alpha$ 、 $\beta$  查《供水水文地质手册》2-7-8 图,  $\alpha = R/(R+C)$ ,  $\beta = R/T$ ;  $R$  为影响半径 (m);  $C$  为渗渠半宽 (m);  $T$  为渗渠底至基岩的距离 (m)。单侧进水时出水量为式 (1) 计算值的一半。

影响半径  $R$  参照“手册”中的经验公式:

$$R = 3000S\sqrt{k} \quad ,$$

式中  $R$  为影响半径 (m);  $k$  为渗透系数 (m/s)。

b) 集水管过流能力及逆止阀出水量

集水管过流能力按均匀流公式计算:

$$Q = \frac{AR^{2/3}}{n} \sqrt{i} \quad (2)$$

式中  $Q$  为集水管过流流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $A$  为过水断面面积, 管内水深以  $2/3$  管径计算 ( $\text{m}^2$ );  $R$  为水力半径 (m);  $n$  为管道流量系数;  $i$  为水力坡降, 取与渠底纵坡相同,  $1/23000$ 。

经计算, 直径 30 cm 的集水管过流能力为  $0.00325 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

目前市场逆止阀产品的启动条件为外水高于渠道水位 2 cm。在 10 cm 水头差条件下, 球形逆止阀设计出水量为 30 L/min, 拍门逆止阀出水量为 11.2 L/min。

根据各渠段的地层岩性、地下水位, 分别计算各渠段集水量。按集水暗管过流能力及逆止阀出水量较小者计算逆止阀间距, 在桩号 SH202+500 前计算间距大于 50 m 的渠段, 设计按 50 m 间距布置, 计算间距小于 50 m 的渠段, 根据计算结果布置; 在桩号 SH202+500 后计算间距大于 100 m 的渠段, 设计按 100 m 间距布置, 计算间距小于 100 m 的渠段, 根据计算结果布置计算, 本渠段逆止阀间距为 50~100 m。计

表 1 渠段渗水计算结果

Table 1 Calculation results of seepage in section

序号	起点桩号	终点桩号	段长 /m	每延米暗管集水量 /(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	逆止阀间距 /m	拍门逆止阀 /个	球形逆止阀 /个
1	SH201+000	SH201+110	110	0.88	50	6	3
2	SH201+110	SH202+664	1554	0.40	50	64	32
3	SH202+664	SH209+330	6666	0.36	100	134	67
4	SH209+330	SH210+773	1443	0.10	100	30	15

表 2 移动泵集水井计算结果

Table 2 Calculation results of mobile pump

渠段桩号	每延米集水暗管 最大集水流量 $Q/(m^3 \cdot d^{-1})$	集水井数量 /个	集水井最大 集水量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	最大净扬程 /m
SH201+000—SH201+110	0.88	1	4.03	10.04
SH201+110—SH201+426	0.40	2	2.51	10.04
SH201+821—SH202+121	0.16	2	0.94	10.04
SH202+386—SH202+500	0.20	1	0.94	10.04

算结果见表 1。

（3）移动泵抽排计算

考虑到本渠段桩号 SH202+500 前预测高水位的较高，为了保证渠道衬砌在检修期的稳定，在桩号 SH202+500 前（除全填方断面）又增设了移动泵抽排方案。分段长度范围内的集水管集水流量总和即为集水井的汇流量，各段集水井计算结果见表 2。

a) 设计流量

根据集水井的汇水流量，确定移动泵的设计流量。

b) 设计扬程

设计扬程为净扬程与管路水头损失之和。

以集水井井底高程加 1.0 m 作为最低控制水位，出水口高程按一级马道高程计，移动泵设计扬程为 10.04~10.06 m。

3.3.3 排水系统的结构及布置

（1）暗管集水，逆止阀内排

渠线全段采用逆止阀内排，在渠坡土工膜下设 0.10 m 厚砂砾，起导水和反滤作用。渠底中心及两侧坡脚混凝土板下设置纵向集水暗管，每隔一定距离（桩号 SH202+664 前 50 m，SH202+664 后 100 m）设置横向集水暗管，通过四通或三通与两侧及渠底中心处纵向集水暗管连接。在两道横向集水暗管中间位置的纵向集水管上设一逆止阀，当地下水位高于渠内水位时，逆止阀门自动开启，将地下水排入渠内，降低地下水位，减小扬压力；当地下水位低于渠内水位时，逆止阀关闭，渠水不会外渗。

纵向集水暗管布置在渠底中心及两侧坡脚位置，

集水暗管采用透水软管，软管内侧为钢丝骨架，外侧为纤维缠绕粘结，直径 30 cm。纵向集水管采用三通管与逆止阀相连。

渠底中心线位置布置球形逆止阀，共计 117 个；渠底坡脚两侧布置拍门逆止阀，共计 234 个。

逆止阀穿过混凝土衬砌板和复合土工膜，逆止阀与混凝土板之间采用聚硫密封胶充填，与土工膜采用 KS 胶粘接，做好防渗措施。

（2）移动泵抽排

移动泵抽排方案主要由垫层、纵向集水管、集水井、排水斜井、移动式潜水泵组成。

预测有高地下水的渠段桩号 SH202+500 前，为了加强排水效果，使衬砌板下的地下水位迅速降低，增设有移动泵装置。在渠坡内脚一侧处设置集水井，在集水井相应位置处渠底设置横向集水暗管向井内集水。斜井管与集水井相连，通向同侧一级马道表面，采用 PVC 排水管，直径 60 cm，以供潜水泵沿斜井滑入集水井抽排集水。集水井为钢筋混凝土结构，本段集水井共 6 个，井间距均为 150 m，尺寸为 1.0 m×1.5 m×1.5 m（长×宽×高），井壁厚 0.2 m，其作用是汇集纵向集水管中的渗水。移动泵仅在渠道水位下降或渠道放空检修时搬运至现场，抽排地下水。

4 工程渠道坡面排水

（1）坡面排水沟布置

坡面上设置纵、横向排水沟，横向排水沟与渠道

水流方向垂直, 设置在坡面和马道上, 间距 50 m; 纵向排水沟与渠道水流方向平行, 设置在各级马道上靠近坡脚的一侧, 并与横向排水沟相连通。

总干渠填方渠道左、右岸渠堤外坡的雨水排入外河道, 挖方渠段内坡的雨水经一级马道进入总干渠。

## (2) 排水沟设计

挖方渠段纵、横向排水沟均采用 C15 混凝土矩形槽, 一级马道, 纵向排水沟沟宽 30 cm, 沟深 30 cm, 壁厚 10 cm, 横向排水沟宽 45 cm, 沟深 50 cm, 壁厚 15 cm; 横向排水沟穿过一级马道时, 在沟顶设置钢筋混凝土盖板, 板长 50 cm, 板宽 65 cm, 板厚 15 cm, 底层设双向受力钢筋。二、三级马道排水沟宽 30 cm, 沟深 30 cm, 壁厚 10 cm; 横向排水沟不设盖板。

填方渠段、半挖半填渠段堤顶不设排水沟, 横向排水沟设置在堤外坡, 采用 C15 混凝土矩形槽, 排水沟宽 30 cm, 沟深 30 cm, 壁厚 10 cm; 当填方高度小于 6 m 时, 不设纵向排水沟, 当填方高度大于 6 m 时, 沿坡脚设纵向排水沟, 断面型式为矩形槽, 采用浆砌石衬砌, 厚度 30 cm, 排水沟宽度及深度均为 1.0 m。两岸纵向排水沟纵比降均根据地形确定, 沿总干渠两侧汇入附近沟道。

## 5 防渗实际效果及可靠性

根据郑州 1 段的地形及地质情况, 针对总干渠防渗、排水做了相对有效的设计措施<sup>[5-6]</sup>, 采用坡体内排方案+排面水内外分别排泄, 并设置坡面防护。自南水北调中线总干渠通水至今, 郑州 1 段总干渠运行情况良好, 没有出现渗水等现象, 表明渠坡的防渗排水设计是切实有效的, 达到了设计预期的效果,

## 6 结 论

本文通过对中线郑州 1 段的典型设计, 采取的防

渗及排水措施在高填方段及深挖方黄土渠段分析及研究, 达到了很好的效果, 为以后大型输水干渠的设计提供一定的借鉴作用。

## 参考文献:

- [1] 何武全. 我国渠道防渗工程技术的发展现状与研究方向[J]. 防渗技术, 2002, 8(1): 31 - 33, 46. (HE Wu-quan. Research progress and development direction of construction technique of canal seepage control in China[J]. Seepage Control Technology, 2002, 8(1): 31 - 33, 46. (in Chinese))
- [2] SL18—2004 渠道防渗工程技术规范[S]. (SL18—2004 Technical specification for canal seepage control engineering[S]. (in Chinese))
- [3] GB50290—98 土工合成材料应用技术规范[S]. (GB50290—98 Technical specification for application of geotechnical synthetic materials[S]. (in Chinese))
- [4] 沈树荣. 供水水文地质手册 (第二册 水文地质计算) [M]. 北京: 地质出版社, 1977. (SHEN Shu-rong. Water supply and hydrological geology handbook (second volumes of hydrogeological calculation)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1977. (in Chinese))
- [5] 朱 强. 渠道防渗与水资源合理利用[R]. 兰州: 甘肃省水利科学研究所, 1996. (ZHU Qiang. The rational utilization of water resources and water resources in canal[R]. Lanzhou: Gansu Institute of Water Conservancy Science, 1996. (in Chinese))
- [6] 中华人民共和国水利部. SL18—91 渠道防渗工程技术规范 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1991. (The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL18—91 The canal seepage control engineering and technical specification[M]. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1991. (in Chinese))

(本文责编 赵小如)