

# Research and Application of Ultra-low Bleeding Rate Vacuum Grouting in the Yellow River Crossing Project of the Middle Route of South-to-North Water Transfer

Daoyuan Jiang

Sinohydro 7th Bureau Chengdu Hydroelectric Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 61130, China

## Abstract

The main purpose of the pre-stressed vacuum grouting of the bonded ring anchors in the Yellow River Crossing Project of China's South-to-North Water Transfer is to prevent the corrosion of the pre-stressed tendons and to provide effective bonding between the pre-stressed tendons and the structural concrete. The compactness of grouting is the key to the success of vacuum grouting. The technology is mature, rapid construction and cost saving are the concrete manifestations of engineering benefits. This paper mainly relies on the Yellow River Crossing Project of the Middle Route of South-to-North Water Transfer, and discusses the research and application of vacuum grouting construction technology for ultra-low bleeding rate.

## Keywords

South-to-North Water Transfer; Yellow River Crossing Project; ring anchor prestress; ultra-low bleeding rate; vacuum grouting; construction technology

## 超低泌水率真空灌浆在南水北调中线穿黄工程中的研究与运用

江道远

中国水利水电第七工程局成都水电建设工程有限公司, 中国·四川·成都 611130

## 摘要

中国南水北调穿黄工程后张法有粘结环锚预应力真空灌浆主要目的是防止预应力筋的腐蚀及实现预应力筋与结构混凝土之间提供有效的粘结, 灌浆的密实性是真空灌浆成功与否的关键, 技术成熟, 快速施工, 节约成本, 是工程效益的具体体现。本文主要依托南水北调中线穿黄工程, 浅述对超低泌水率真空灌浆施工技术的研究与应用。

## 关键词

南水北调; 穿黄工程; 环锚预应力; 超低泌水率; 真空灌浆; 施工技术

## 1 工程概况

南水北调穿黄隧洞位于中国河南省郑州市以西 30km 处孤柏山弯横穿黄河。穿黄隧洞由南、北岸竖井、过河隧洞和邙山隧洞组成。穿黄隧洞全长 4250m。北岸竖井井深 50.5m, 过河隧洞长 3450m, 南岸竖井井深 39.5m, 邙山隧洞水平投影长 800m。

穿黄隧洞为全圆断面, 内径 7.0m, 外径 8.7m。内衬采用现浇法施工(二次衬砌), 为后张法有粘结预应力钢筋混凝土整体结构, 采用 C40.W12.F200 预应力混凝土, 厚 45cm, 标准分段长度为 9.6m。预应力锚索间距为 45cm, 每束由 12

根预应力钢绞线集束而成, 共计布置预应力环型锚索 9184 根。

本工程环形预应力钢绞线束预应力施加采用后张法有粘结环锚锚固体系, 采用有粘结钢绞线作为预应力筋对钢筋混凝土环向施加预应力。

## 2 施工难点

穿黄 II-B 标隧洞共计锚索 9184 根, 本工程属于南水北调中线工程中的重点工程, 工程施工成败关乎国计民生, 社会形象。本次预应力锚索真空灌浆施工具有以下难点: (1) 环锚曲率大(曲率半径 3.5m); (2) 结构复杂、施工工序多; (3) 施工强度大(共计 9184 根, 2000 根/月); (4) 超低泌

水率,质量要求高。

### 3 解决方案

预应力结构的耐久性和预应力真空灌浆的质量是灌浆施工成败的关键。孔道的浆体作为空隙的填充料、提供预应力系统和结构的粘结以及预应力筋的防腐作用,其质量直接影响到结构的耐久性。<sup>[1]</sup>针对本工程及行业发展特点,通过:(1)浆液性能检验;(2)原材料检验;(3)真空灌浆室内试验;(4)灌浆配合比选定;(5)真空灌浆工艺研究,探讨和形成一套超低泌水率真空灌浆快速施工技术,将有效解决穿黄隧洞环锚施工高精度、高强度、高难度等问题。

### 4 研究意义

随着中国经济的迅速发展,传统的环锚预应力灌浆工艺已不能满足工程施工的现实需要,通过本课题的研究及实践,形成一套科学的施工理念,总结出一套先进的施工方法和高效的施工工艺,不仅对当前南水北调穿黄隧洞内衬环锚预应力灌浆施工具有重要意义,而且可为今后中国类似的环锚预应力工程灌浆施工解决关键施工技术难题,为环形预应力混凝土设计施工提供重要的经验数据,更好的推动环形预应力锚索施工、灌浆施工的发展、推广、应用。

### 5 研究内容

#### 5.1 浆液性能检验

##### 5.1.1 泌水率检验

设计水灰比为 0.45:1, 0.5:1 两个方案。要求浆液搅拌 3

小时后,泌水率不宜大于 2%,总泌水率不应大于 3%,而且浆体应能在 24 小时内将泌水全部吸收。依据《专家委中线穿黄隧道工程施工技术质询意见》,为防止顶拱部位波纹管产生空腔宜降低水泥浆的泌水率,我部对水泥浆的配合比进行改进,加入山西黄腾 HT-MA 真空辅助压浆专用助剂,通过试验优化后的泥浆泌水率控制在 1% 之内,两种配合比方案均能满足施工要求。

##### 5.1.2 净浆流动度检验

0.5:1: 流动度(坍落扩散 500mm 的时间) ≤ 40S。

0.45:1: 流动度(坍落扩散 500mm 的时间) ≤ 50S。

#### 5.2 原材料检验

##### 5.2.1 水泥

采用博爱金隅 P.O42.5 袋装水泥,其物理力学性能满足通用硅酸盐水泥标准 GB175-2007 要求。

##### 5.2.2 外加剂

采用山西黄腾 HT-MA 真空辅助压浆专用助剂,检测结果满足《混凝土外加剂》GB8076-2008 以及 JTG/T《公路桥涵施工技术规范》要求。

##### 5.2.3 拌和用水

混凝土拌和用水采用生产区饮用水,检测结果满足《混凝土用水标准》JGJ-2006 要求。

#### 5.3 真空灌浆室内试验

根据设计要求,真空灌浆水灰比宜为 0.45 ~ 0.50, 28 天强度不低于 40MPa。使用博爱金隅 P.O42.5 水泥、山西黄腾压浆剂进行配合比室内试验,试验结果见下表:

表 1 预应力锚索真空灌浆成型试验效果表

试验编号	水灰比	减水剂掺量 (%)	每方材料用量 kg			容重 (kg/m <sup>3</sup> )	扩散 500mm 的时间 (s)	泌水率 3h(%)	抗压强度 (MPa)			
			水	水泥	外加剂				7d		28d	
SP-1	0.42	10	537	1279	127.9	1896	34	0.6	43.1	44.3	60.1	61.3
									44.2		62.1	
									45.6		61.7	
SP-2	0.45		550	1222	122.2	1856	25	0.7	43.7	42.1	46.3	54.1
									41.6		58.4	
									41.1		57.7	
SP-3	0.48		572	1192	119.2	1824	26	1.3	39.0	40.1	46.4	47.6
									41.2		48.9	
									40.1		47.4	

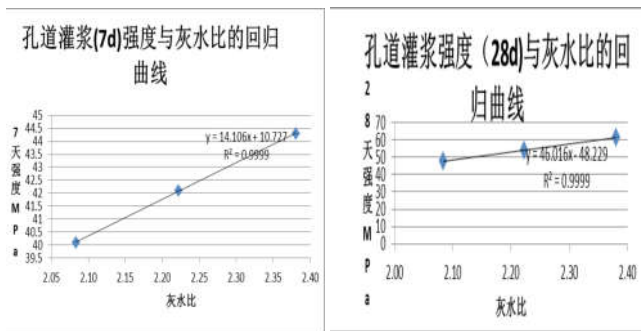


图1 孔道灌浆7天、28强度与灰水比的关系曲线图

由上表的试验结果、强度与灰水比的回归曲线(图1)及综合设计指标可以得出,水灰比为0.45:1、外加剂掺量为10%时,水泥净浆满足设计及施工要求。因此,水灰比选定为0.45:1,外加剂掺量为10%<sup>[2]</sup>。

### 5.4 施工配合比确定

根据设计要求及最大水灰比的规定,并结合室内试拌得到的抗压强度,综合确定真空灌浆施工配合比如下表:

表2 真空灌浆施工配合比

配合比编号	设计强度 (MPa)	水灰比	每方材料用量 (kg)			容重 (kg/m <sup>3</sup> )
			水泥	水	外加剂掺量 10%	
SP-2	40	0.45	1222	550	122.2	1856

### 5.5 真空灌浆工艺研究

传统压力灌浆工艺,压入的浆体中常含有气泡,当混合料硬化后,气泡处会变为孔隙,成渗水的聚积地,渗水可能含有有害成分,易造成构件的腐蚀。在严寒地区,这些水会结成冰,胀裂构件,造成严重的后果。另外,水泥浆容易离析、泌水,干硬后收缩,产生孔隙致使强度不够,粘结不好,为工程留下隐患。

真空灌浆工艺是后张预应力混凝土结构灌浆的一种新方法,其基本原理是:利用孔道顶端排气孔,采用真空泵对孔道进行抽真空,使之产生-0.06~-0.08Mpa左右的真空度,然后用灌浆泵将优化后的特种水泥按由低到高从锚具槽两端口灌入,直至充满整条孔道,并加入0.3~0.4Mpa的正压力,以提高预应力孔道灌浆的饱满度和密实度。其示意图如图2所示。

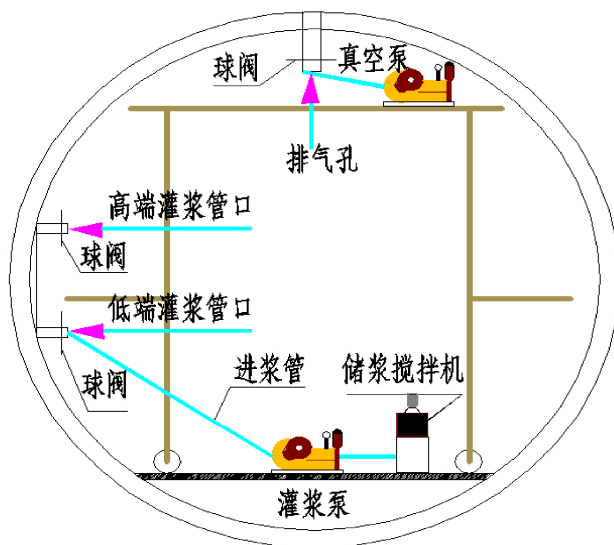


图2 真空灌浆示意图

## 6 施工技术

- (1) 预留槽封填达到设计强度后方可进行波纹管灌浆。
- (2) 波纹管真空灌浆

波纹管真空灌浆采取循环灌浆方式。灌浆前采用高压风冲刷孔道,进行通畅性检查;然后用真空泵对波纹管孔道进行灌浆,真空度0.06~0.08Mpa。浆液水灰0.45:1,由生产性试验确定,且要满足设计要求。真空灌浆分三步进行:

第1步,暂时关闭预留槽高端管嘴(指由预留槽B型喇叭管引出的管嘴——下同),让预留槽低端管嘴(指由预留槽A型喇叭管引出的管嘴——下同)接进浆管,顶拱排气管嘴接真空泵管。灌浆开始时,先启动真空泵,对孔道形成0.06~0.08Mpa的真空度,接着打开进浆管阀门进浆,并施加0.3~0.4Mpa的灌浆压力,待顶拱管嘴回浆后,关闭预留槽低端进浆管和拱顶排气管嘴阀门;

第2步,预留槽高端管嘴接上进浆管后,打开拱顶排气管嘴阀门,启动真空泵,对孔道形成0.06~0.08Mpa的真空度,接着打开进浆管阀门进浆,并施加0.3~0.4Mpa的灌浆压力,当拱顶管嘴回浆后,关闭拱顶排气管嘴阀门;

第3步,高端管嘴继续加压进浆,延续灌注10min后即可结束灌浆。

- (3) 特殊情况处理

如果因设备故障或其他原因发生灌浆中断且30min以内不能恢复的情况,立即从顶部排气管通入水流对孔道进行冲

洗, 将已灌入的水泥浆全部冲洗出来直到完全返清水, 并保证各进浆管排气管畅通。<sup>[1]</sup> 故障排除后重复进行孔道冲洗并用高压风吹干, 重新开始灌浆。

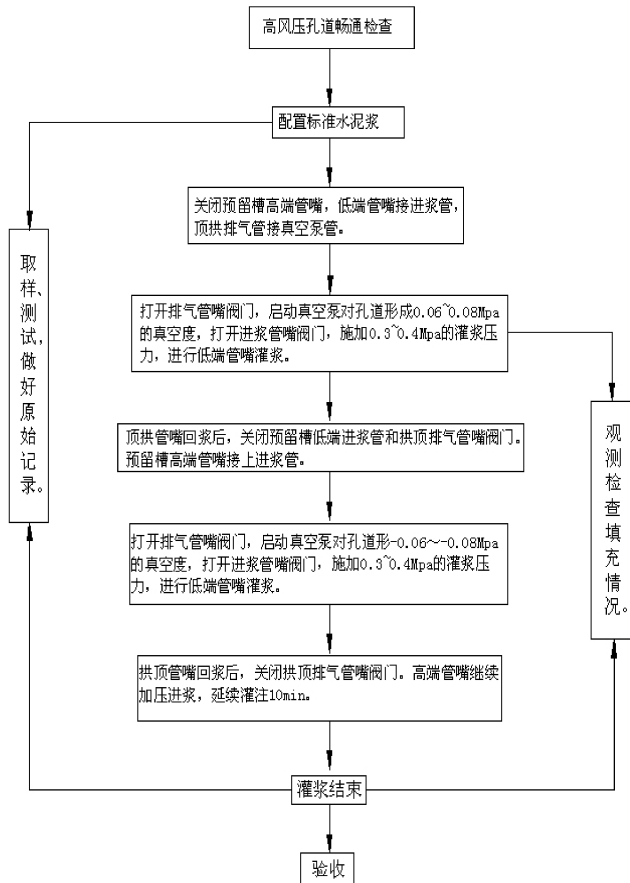


图3 真空灌浆施工流程图

## 7 研究成果

通过实践证明:

(1) 在真空状态下, 孔道内的空气、水分以及混在水泥浆中的气泡被消除, 减少了孔隙、泌水现象;

(2) 灌浆过程中孔道具有良好的密封性, 使浆体保压及充满整个孔道得到保证;

(3) 工艺及浆体的优化, 消除了裂缝的产生, 使灌浆的饱满性及强度得到保证;

(4) 真空灌浆过程是一个连续且迅速的过程, 缩短了灌浆时间;

(5) 金属波纹管的优点: 可提高预应力筋的防腐保护, 施工中因其有强度大、刚度大, 不生锈的特点而不易破坏。

通过对浆液性能的检验、原材料检验及真空灌浆室内试验, 总结出了适合环锚预应力真空灌浆施工用低水灰比、高流动度、超低泌水率(3h 低至1%以下)浆材, 通过工程实践证明: 0.45:1 高流动度、超低泌水率浆材对环锚预应力施工质量改善效果显著, 也为灌浆的快速施工提供了条件。真空灌浆工艺的运用, 不仅保证了工程质量, 弥补了传统压浆工艺中的质量缺陷, 同时缩短了灌浆时间。后期检查证明真空灌浆效果明显, 钢绞线包裹充分, 孔道填充密实。

## 8 结语

超低泌水率真空灌浆快速施工技术研究成果应用后, 依托工程的环锚预应力施工生产得以优质、快速、安全的完成, 创造了一个中国水利工程史上在超薄预应力混凝土下大规模、高强度、高标准、高难度环锚预应力工程施工实例。同时, 为依托工程的后续施工创造了有利的条件。

本次课题研究技术已经在南水北调穿黄隧洞环锚预应力施工中得到大规模应用, 确保了施工优质、高效的完成, 应用效果良好, 取得了良好的经济、社会效益, 具有广泛的推广应用价值。

## 参考文献

- [1] 侯少波, 任变丽. 南水北调中线工程渠道水下灌浆施工水质保护措施 [J]. 河北水利, 2018(08):30-31.
- [2] 关于水利工程中基础灌浆施工技术的有效运用分析 [J]. 佟艳辉. 黑龙江水利科技. 2016(11)
- [3] 张贺强. 浅析南水北调渠堤高填方段锥探灌浆施工技术应用 [J]. 四川水力发电, 2018, 37(01):107-110.