

# 龙井隧道进口端地下水止水方案要点分析

刘瑞华

湖南尚上公路桥梁建设有限公司

**摘要：**隧道施工过程中雨季的涌水控制，对策大体上分为“排水”和“堵水”两个方面。经验表明“排”与“堵”相结合的方法是控制地下水最有效的方法。文章以龙井隧道的施工实践为依托，基于此项目所在地的气候、地质情况出发，分析了龙井隧道进口端开挖时存在的施工难度，总结了龙井隧道进口端地下水止水所采用的“集中排水结合帷幕法止水方案”的技术要点。本文的分析及经验总结旨在为后续类似工程的施工提供一定层面的技术借鉴。

**关键词：**隧道工程；施工阶段；涌水控制；帷幕止水

## 一、引言

隧道施工阶段雨季降雨及地下水涌水控制，采用的对策大体上分为“排水”和“堵水”两个方面。工程实践的许多经验已经证明，在隧道施工中采用集中排水法结合帷幕法止水方案可能是最佳的解决方案。因此文本结合工程实践，分析龙井隧道进口端地下水止水方案要点具十分重要的实践意义。

## 二、工程概况

龙井隧道（K109+875、YCK109+888）位于靖西县湖润镇龙井村西南侧约600m处，隧道走向约为312°。隧道起止桩号左线ZCK109+190-ZCK110+560，设计长度为1370m，右线YCK109+235-YCK110+541，设计长度为1306m。隧道最大埋深约285.43m。各围岩衬砌长度见表1“隧道各类围岩衬砌长度”。龙井隧道进口端涌水严重时，左洞已开挖至K109+524，暗洞累计掘进314米；右洞开挖至K109+575，暗洞累计掘进325米。右洞掌子面超前左洞约60米。

表1 隧道各类围岩衬砌长度

隧道名称	桩号	各类围岩衬砌长度（m）				
		S5	S4	S3	S2	明洞
龙井隧道左线	ZCK109+190~ZCK110+560	285	350	460	250	25
龙井隧道右线	YCK109+235~YCK110+541	251	320	460	250	25
合计：2676m		536	670	920	500	50
比例		20%	25%	34.4%	18.7%	1.9%

## 三、地下水情况

（1）龙井隧道进口段西南侧约300m的山间溪流，自西向东流至右洞洞顶。雨季时水流量约为90m<sup>3</sup>/h，枯水季节水量约为50m<sup>3</sup>/h。在左洞ZCK109+428.6洞顶的右侧12.7m有一口人工水池，水池距右洞YCK109+425.1隧道中心线36.2m；水池底高程为495.1m，左洞ZCK109+428.6路面设计高程为399.73m；右洞YCK109+425.1路面设计高程为399.02m；水池底与左洞洞顶高差为86.4m；水池底与左洞洞顶高差为87.13m；本水池专供下雷镇弄江屯村民的生活用水，自从龙井隧道进口段开挖后，山上小溪的水流越来越小，隧道内水量越来越大。施工阶段进入IV级围岩开挖以来，龙井隧道左右洞掌子面的水从未断过。一开始我部施工人员在每个隧道内布置一台65WQ25-15-3型污水泵配套φ40mm水管（水泵流量为25m<sup>3</sup>/h）抽水，左洞每天大约要抽水18小时，右洞每天大约要抽水22小时，春节期间也未停止抽水。

（2）施工进入III级围岩全断面开挖后，右洞水量不断增大，抽水设备换成了80WQ30-30-5.5型污水泵和φ40mm水管，水泵流量为30m<sup>3</sup>/h，每天需要20小时抽水以上才能满足洞内施工的需要。其中右洞开挖到YCK109+514后，掌子面冒出一股大水；左洞开挖到ZCK109+494后，掌子面也冒出一股大水；两

处排水均采用2台80WQ30-30-5.5型污水泵配套φ40mm水管将掌子面的水抽到洞内水箱，然后用1台80WQ40-40-11型污水泵配套φ100mm水管将污水从水箱再抽到洞外。由于水流受降雨影响，暴雨过后几小时内还必须增加一台5.5Kw水泵直排洞外，洞内水源及水量情况见以下现场图片1-3：



图1 隧道左洞洞内涌水



图2 隧道右洞洞内滴水



图3 暴雨过后排水现场

## 四、施工难度

由于隧道内涌水量很大，达到60m<sup>3</sup>/h，给施工带来以下几个方面的影响：

（1）影响工地形象：隧道滴水给工地文明施工带来极大困难。出渣时，运渣车上带有大量的污水，使得每次出完渣后，隧道内已施工的仰拱上和隧道外的便道上到处是泥渣，严重影响工地形象。

（2）施工环境恶劣：由于裂隙水从顶板往下流，使得隧道内施工环境很差，空气非常潮湿，能见度也很差，给施工安全带来很大的隐患。现场作业人员长期在有水环境下施工，经常感冒，施工效率严重下降，甚至有些人员的皮肤感染严重，施工人员在工地思想情绪极不稳定。

（3）影响开挖进度，工效降低：每天掌子面停下来抽水成为一个影响工期的关键工序。每次出完渣后，必须抽水5小时以上，才能进入下一道施工工序。在有水的地方，初期喷射混凝土也很难喷上，造成施工时间过长，材料浪费大。原来每

天正常施工可以完成2个循环，现在淋水严重，每天最多施工一个循环，造成人员、设备严重窝工。

(4) 龙井隧道进口端首先采用导水法施工。每天将隧道内的流水抽到洞外，然后通过原来的裂隙，渗入到地下溶洞。导水法施工费用过高，且不符合设计“以堵为主，限量排放”的防排水原则。其中一个月所花抽水费用的直接费用统计如下，随着开挖距离的增大，施工难度更大，影响工期更加明显，完成隧道开挖施工，所花费用总额将达到 $444500 \times 6 = 2667000$ 元以上。

表2 抽水费用统计表(单月)

序号	名称	单位	数量	单价	合价(元)	备注
01	清理运渣便道泥渣人工费	天	60	150	7200	
02	抽水电费	度	39600	1	39600	
03	抽水的人工费	天	120	150	18000	
04	烧坏11KW水泵	台	3	4500	13500	
05	烧坏5.5KW水泵	台	5	3200	16000	
06	烧坏4KW水泵	台	4	1600	6400	
07	水泵专用电缆	m	820	40	32800	
08	施工工人窝工	天	960	180	172800	
09	工程延期造成项目管理费增加	总额			70000	
10	喷射混凝土材料损失	方	220	310	68200	
11	合计				444500	

五、进口端地下水止水治理方案要点

(一) 集中排水法结合帷幕法止水方案(方案1)

1. 施工方法

(1) 右洞K109+533~K109+575(已开挖)淋水比较严重段主要采用引水再集中排水法，首先施工防水层，将隧道顶板拱腰上的淋水通过防水板背面引至隧道地面集水坑，再通过水泵集中向洞外排放；

(2) 右洞掌子面K109+575、左洞K109+524往前施工的防排水施工根据防排水设计原则“以堵为主，限量排放”，采用帷幕法注浆堵水防控隧道水害，在掘进前对围岩渗漏水进行及时处理；以下内容总结帷幕法注浆参数设计及施工工艺。

2. 注浆材料及参数

(1) 注浆材料采用水泥-水玻璃双液浆；

(2) 水泥选择425#普通硅酸盐水泥，水灰比为重量比，取0.6；1~3：1；

(3) 水玻璃选用模数为2.8~3.2，浓度40Be；

(4) 注浆管材料选用 $\phi 42 \times 3.5$ mm无缝钢管；注浆管环向间距为0.6m，注浆压力0.5~1Mpa；

3. 注浆孔的布置

依据注浆理论和现场勘查，注浆段为龙井隧道左右洞淋水及涌水段洞身，采用沿隧道开挖线环向注浆方式进行布孔注浆。浆液扩散半径取1.5~2m。见附图4“全断面注浆孔布置横断面示意图”：

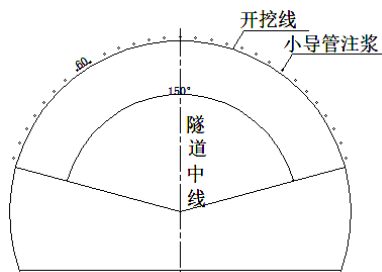


图4 全断面注浆孔布置横断面示意图

4. 注浆站的建立

注浆站主要设备有2TGZ-60/210型双液调速高压注浆泵1台，搅拌机1台和蓄水桶和蓄浆桶等，站内敷设供电、供水及压风等管路各一套。

5. 施工流程

具体工艺流程如下：清理表面→风钻钻孔(孔径43mm，孔深7.5m)→开启注浆泵压水→注入泥-水玻璃浆液→双液浆封孔→换孔。

6. 主要技术要求

(1) 注浆浆液的浓度应由稀到浓，注浆压力由低到高，逐级变换；

(2) 结合涌水水源点位置和水流方向，按“有水孔到无水孔”顺序施作；

(3) 注浆结束标准宜采用注浆终压控制，达到设计注浆终压时，且注浆孔注入率小于40L/min时，延续20~30min，即可结束注浆；

(4) 在部分涌水量较大的段落应先进行适量的排放，待水流稳定后再进行注浆封堵。

帷幕法止水每环费用见表3：

表3 帷幕法止水方案费用统计表(每环)

序号	名称	单位	数量	单价	合价(元)	备注
01	$\phi 42$ 无缝钢管	m	217.5	45	9798.5	
02	高压阀门	个	29	30	870	
03	425#水泥	t	58	480	27840	
04	水玻璃	t	32	900	28800	
05	注浆电费	度	104	1	104	
06	钻孔人工费	m	217.5	5	1087.5	
07	安装注浆管和高压阀门人工费	根	29	8	232	
08	注浆人工费	t	90	30	2700	
09	管理费	总额			4286	
10	税金	总额			2582	
11	合计				78300	

六、结论

隧道施工阶段，隧道防水施工是十分重要的环节，防水方案会因为施工环境的影响、施工技术限制等而防水失效，将造成施工无法继续进行，如果采用的施工技术方案不适当，会严重影响隧道的建成质量。所以在隧道施工阶段，要针对气候条件、地下水位实际情况，而采取多项适宜的措施，保证隧道开挖时施工防水的有效性，并最大可能的降低安全事故的发生概率，促进施工能正常进行，确保如期完工。

参考文献

[1] 孙臣生. 天河山隧道大量涌水原因分析及对策研究[J]. 地下空间与工程学报. 2017 (S1).  
 [2] 郑维, 左昌群, 吴盼盼, 等. 大坪山隧道涌水原因分析及涌水量预测研究[J]. 中外公路. 2014 (06).  
 [3] 刘钦, 李术才, 李煜航, 等. 龙潭隧道F2断层处涌水突泥机理及治理研究[J]. 地下空间与工程学报. 2013 (06).  
 [4] 李利平, 石少帅, 李术才, 等. 特长深埋隧道裂隙水综合预测方法与应用[J]. 地下空间与工程学报. 2013 (03).