

# 富水隧道合理注浆区域选定

刘建东 闫迪

中交路桥建设有限公司 北京 100024

**摘要:** 以地处于广西在建的富水隧道为工程依托,采用数值模拟的方法,分析了在不同注浆圈厚度下,地表沉降、拱顶沉降、水平收敛以及围岩的孔隙水压力变化;得到最优的注浆厚度,在此基础上分别分析以 $60^\circ$ 为一级,  $0\sim 360^\circ$ 注浆范围对地表沉降、拱顶沉降、水平收敛的影响,最终确定合理的注浆区域。结果表明:注浆可以有效的减小开挖对围岩的扰动,具体体现在对地表沉降、拱顶沉降、水平收敛以及围岩的孔隙水压力都有很好的控制作用,同时可以看出注浆厚度在3m时效果最好,在此基础上分析可以看出在注浆范围为 $240^\circ$ 就可以满足安全施工的要求。

**关键词:** 富水隧道;数值模拟;注浆圈厚度;合理注浆范围

## 1 研究现状

广西地区具有相对比较复杂的地形地貌,以及复杂的地质条件,在这其中富水问题对于隧道的修建是最大的难题。富水问题的存在,不仅会使围岩的稳定性变差出现坍塌与大的变形,突泥涌水;更为关键的是给施工人员的生命带来威胁。对于富水隧道处理,一般采用注浆堵水的方式,传统的做法是在隧道周边进行全范围的注浆,在实际工程中有时全范围进行注浆会造成没必要的浪费,合理的注浆范围不仅可以保障工程的安全进行,还可以节约成本。

学者<sup>[1]</sup>根据工程实际情况,通过采用数值模拟的方法,对处于饱和含水条件下破碎带隧道围岩开挖稳定性进行分析,得到不同注浆方式对支护结构稳定的影响,从而得到合理注浆方式。何川等<sup>[2]</sup>采用三维有限差分软件对厦门东通道海底隧道进行流固耦合分析,研究仰拱部位的防排水措施、仰拱曲率半径对围岩位移和衬砌结构受力的影响。学者<sup>[3]</sup>以某水底隧道为工程背景,采用数值模拟对地下水封堵、自由排水等四种工况进行分析研究,通过对这四种工况数值模拟计算结果的比较,以优化水底隧道的设计。贾媛媛等<sup>[4]</sup>针对成都某下穿既有市政管线隧道的新建铁路隧道降水施工方案,采用理论与软件的方法,分析研究了既有市政管线隧道的受力特性及位移在降水施工过程中的变化规律。李廷春等<sup>[5]</sup>为了验证厦门海底隧道顶板在减小设计厚度时的稳定性,依据流固耦合理论,应用三维快速拉格朗日法进行数值分析,建立多个逐渐减小顶板厚度的计算模拟工况,得出开挖后的应力分布、孔隙水压力分布等结果。杨文亮<sup>[6]</sup>根据胶州湾的地质条件,运用ABAQUS建立穿越断裂带不同覆盖层厚度的二维渗流模型,通过监测隧道轮廓各个点的渗流速度得到涌水量的预测结果。刘志春<sup>[7]</sup>通过GEO-

STUDIO中seep/w模块分析在裂隙岩体中隧道施工和运营过程中隧道的地下水渗流速度分布状况及地下水位及水资源的流失量,掌握了地下水位、地下水资源流失量及排水影响半径随施工及运营过程的变化规律。

## 2 工程概况

狮子山隧道全长2434km,位于桂林市平乐县大发瑶族乡下堡,地貌为典型的剥蚀低山地貌,山体岩石表层为全风化的花岗岩,风化深度约有50m左右,地下水埋藏丰富,且年降水补给充沛。根据地勘报告可知,其中K22+826~K22+974段为花岗岩全风化带和角岩化蚀变大理岩的接触带附近,全风化的花岗岩(呈砂状、角砾状、土状)与蚀变大理岩(岩体较完整)分布无规律性,围岩稳定性极差,同时出水状态为淋雨状出水,有突水涌水的可能,故对此段进行研究。

## 3 富水隧道合理注浆区域分析

### 3.1 合理注浆圈厚度的选定

#### 3.1.1 模型的建立与参数的选取

模型的尺寸在X、Y、Z三个方向尺寸为 $110\text{m}\times 60\text{m}\times 89\text{m}$ (隧道顶部到模型上表面的距离为37m);模型效果图见图3-1,围岩以及注浆材料采用各项同性渗透率的Morh-Coulomb模型,支护结构视为理想各项同性的弹性材料。根据模拟的工况设置不同厚度的注浆圈,采用核心土法施工。孔隙水压力由设置空间水平面自动生成,水位线距地表10m位置,水位线以下为饱和含水。

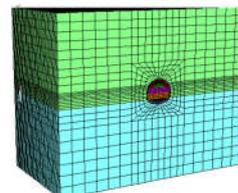


图3-1 模型效果图

围岩及支护的物理力学参数根据地质资料、《公路隧道设计规范》确定了V级软岩物理力学指标如表3-1所示。

表3-1 材料力学指标

材料类型	容重/(kg·m <sup>-3</sup> )	弹性模量/MPa	泊松比	内聚力/kPa	摩擦角/(°)	孔隙率	渗透系数/(cm/s)
初支	2550	15.7	0.22	—	—	0.1	2e-6
地表全分化层围岩	1485	53.8	0.32	25	36	0.412	5.22e-4
强分化层围岩	1650	500	0.30	45	43	0.213	5.23e-5
强风化区注浆地层	1940	752	0.29	60	46	0.141	2.64e-5

根据要模拟的工况，建立几何模型，注浆区域为周边全范围，加固圈厚度取值依次为1m至5m以1m为间隔，开挖方法为预留核心土。通过改变注浆圈的厚度来研究注浆厚度与拱顶沉降、水平收敛以及围岩孔隙水压力分布的关系，从而得到最优注浆圈厚度。

3.1.2 结果与分析

① 不同注浆加固圈厚度的拱顶沉降

拱顶的沉降是隧道开挖过程中重要的位移控制指标参数,通过对模型拱顶位移的检测，提取拱顶位移数值进行分析，注浆厚度为1m时沉降值为176.3mm；3m为138.9；5m为128.8mm。可以看出随着注浆圈厚度的不断增加拱顶的沉降量会不断的减小。注浆圈厚度大于3m时，随着注浆加固圈厚度的不断增加，但是在3m以后随着注浆加固圈厚度的增加，拱顶的沉降量虽在减小，但是减小的幅度开始下降，在3m时拱顶的沉降与1m的沉降差已占到5m与1m沉降差的76.4%，注浆效果已相当的明显，故合理的注浆加固圈厚度宜取3m。

② 不同注浆加固圈厚度的水平收敛

不同的注浆加固圈厚度工况下水平收敛值如下，注浆厚度1m为111.7mm；3m为70.6；5m为62.8，可以看出，随着注浆全厚度的不断增减水平收敛在不断减少，在3m之前变化比较急剧，3m以后变化比较缓慢，故注浆厚度取3m比较合适。

③ 孔隙水压力分布

孔隙水压力分布可以表现出围岩周边孔隙水压力的变化趋势，图3-3~3-5为注浆圈厚度D = 1、3、5m，围岩孔隙水压力分布图。

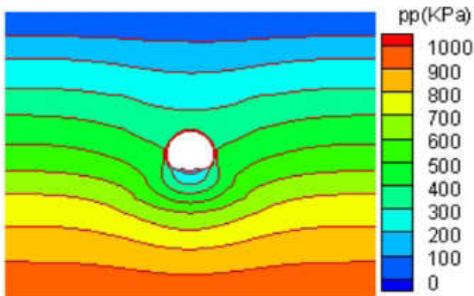


图3-2 D = 1m孔隙水压力分布图

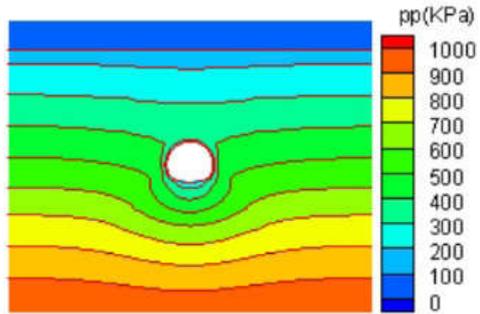


图3-3 D = 3m孔隙水压力分布图

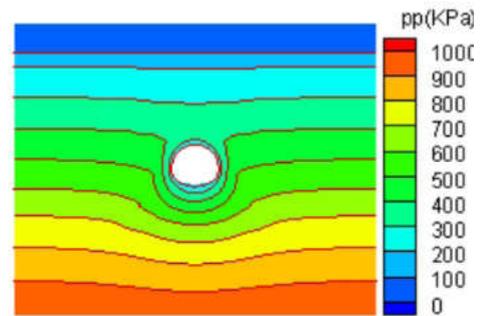


图3-4 D = 5m孔隙水压力分布图

从图3-3~图3-5中可以看出，在D = 3m时孔隙水压力等值线云图上降水漏斗曲线已经不是很明显，这说明在D = 3m时已达到较好的止水效果。

3.2 注浆范围研究

合理注浆区域，即要考虑合理注浆厚度，同时还需要考虑注浆的合理范围。由前面的研究可知注浆圈的厚度为3m为最佳。以注浆厚度3m为依据来研究合理注浆范围，以隧道中心为原点取拱顶部分φ = 0°、60°、120°、180°、240°、300°和360°区域进行注浆来研究合理的注浆范围角，得出合理的注浆范围角。

① 不同注浆范围的拱顶沉降

拱顶沉降是施工中重要的控制指标，合理的注浆范围既可以节省成本又可以保证施工中的稳定性。不同注浆范围工况下拱顶沉降值如下：0°为206.2mm；120°为172.8mm；240°为149.7mm；360°为143.3mm。可以看出当注浆范围φ ≤ 240°时，增加注浆范围对拱顶沉降的控制效果明显，在注浆范围φ > 240°以后增加注浆范围对拱

顶沉降的控制效果变化不大,在 $\varphi = 240^\circ$ 时拱顶沉降量与 $\varphi = 0^\circ$ 时拱顶沉降量差值已占到 $\varphi = 360^\circ$ 注浆时拱顶沉降量与 $\varphi = 0^\circ$ 时拱顶沉降量差值的90.5%,故合理的注浆范围为 $\varphi = 240^\circ$ 。

#### ② 不同注浆范围的水平收敛

不同注浆范围工况下的水平收敛如下 $0^\circ$ 为150.4mm;  $120^\circ$ 为112.1mm;  $240^\circ$ 为81.3mm;  $360^\circ$ 为73.2mm。可以看出当注浆范围 $\varphi \leq 240^\circ$ 时,增加注浆范围对水平收敛的控制效果明显,在注浆范围 $\varphi > 240^\circ$ 以后增加注浆范围对水平收敛的控制效果变化不大,在 $\varphi = 240^\circ$ 时水平收敛值与 $\varphi = 0^\circ$ 时水平收敛差值已占到 $\varphi = 360^\circ$ 注浆时水平收敛值与 $\varphi = 0^\circ$ 时水平收敛差值的89.5%,故合理的注浆范围为 $\varphi = 240^\circ$ 。

#### 4 结束语

在合理注浆加固圈厚度方面,通过研究地表沉降、拱顶沉降和水平收敛与不同注浆加固圈厚度的关系,可以得到结论当 $D = 3\text{m}$ 时这三项的位移指标都得到了很好的控制,可以满足安全施工的要求。同时得到结论当 $D=3\text{m}$ 时注浆止水达到较好的效果,且成本也可以很好的控制,也比较符合实际施工,故 $D = 3\text{m}$ 为合理的注浆加固圈厚度。

在合理注浆角度范围方面,通过研究对地表沉降、拱顶沉降和水平收敛与不同注浆范围的关系,可以得到结论当注浆角度 $\varphi = 240^\circ$ 时所研究的位移指标都可以得到很好的控制,且再加大注浆范围的效果已经不是很明显,故当注浆角度为 $\varphi = 240^\circ$ 为合理的注浆范围。

#### 参考文献

- [1]祝末,尚岳全.不同倾角的破碎带对隧道围岩稳定性影响[J].公路工程,2010,35(6):35-41.
- [2]贾媛媛,路军富.隧道降水施工对既有市政管线隧道影响研究[J].水位地质工程地质,2011,37(6):43-48.
- [3]李廷春,李术才.厦门海底隧道的流固耦合分析[J].岩土工程学报,2005,26(3):397-401.
- [4]师晓权,何川.基于流固耦合的水底隧道仰拱受力分析与优化[J].铁道科学,2011,33(1):36-41.
- [5]莫阳春.高水压充填型岩溶隧道稳定性研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [6]杨文亮,薛亚东,黄宏伟.胶州湾海底隧道穿越破碎带渗流有限元模拟[J].隧道建设,2015(S2):37-42.
- [7]刘志春.裂隙岩体隧道与地下水环境相互作用机理及控制技术研究[D].北京:北京交通大学,2015.