

中风化硬质岩层顶管施工方案比选研究分析

耿锐

广西路桥工程集团有限公司

摘要: 随着城市的不断发展,市政工程建设会时常遇到不开槽管道的施工,同时越来越多的地下管道施工需穿越硬质岩层。因此硬质岩层顶管施工工艺的研究已成为工程技术人员需要钻研的问题。本文依托人高路二期道路工程(K0+000~K1+240)项目中风化硬质岩层圆形顶管工程的施工,采用Midas GTS NX有限元分析软件对硬质岩层水钻法顶管施工开挖工况进行分析并进行方案比选研究,通过方案比选后发现,在岩层强度较大的情况下,可直接采用水钻法开挖硬质岩层出洞,完成开挖后再进行管道顶进的施工,同时地表沉降仍在可控的范围内。

关键词: 中风化硬质岩层; 顶管施工; 水钻法开挖; 不跟管开挖施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.16.043

现阶段,硬质岩层的顶管施工主要分为人工机械、物化做功、电气设备等三大类^[1]。但是对于小断面岩层顶管的施工,采用机械开挖的方式成本过高。孟宪翠等^[2]将水钻法顶管施工应用于柳州市柳东新区官塘片区污水收集管网第二合同段管道工程顶管的施工。

采用该方法施工的工艺流程为:首先采用钻孔取芯机在开挖岩层的掌子面上钻孔取芯,完成外环钻孔口后,所有钻孔连成一个环后使岩芯便与岩壁分离形成一圆外周临空面。完成外环的水钻钻孔取芯后剩余的岩芯部分进行打孔,孔内打入钢楔,捶击钢楔挤压岩石,使岩石同时受到铅锤面上的剪切力和水平面上的拉力作用,当挤压力大于极限抗拉力和极限抗剪切力之和时,岩石沿水平面被拉裂并从底部发生剪切破裂,最后将破裂分离的岩块利用机具运出^[2]。如图1。

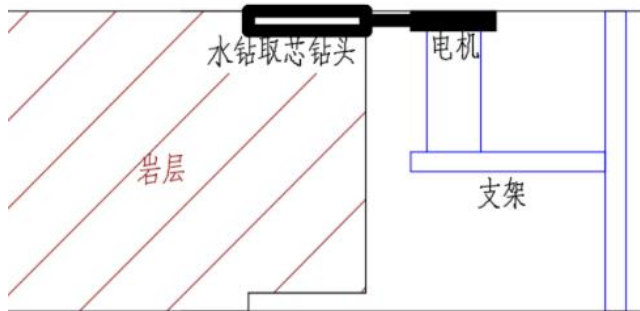


图1 水钻钻孔取芯工作剖面图

但是,该方法采用掘进一节,跟管顶进一节,采用该方法施工效率较低。若在方案设计阶段对开挖岩层稳

定性进行分析,在岩层受力良好的情况下,可以超前开挖更大的范围甚至在完成全段开挖后再进行管道顶进的施工。更大的超前开挖范围没有了跟进管节的影响,石方转运的效率更高。

黄加明^[3]利用了Midas GTX NX软件,对上海某下立交下某大断面矩形顶管下穿合流污水箱涵工程施工过程中的受力工况进行分析,并综合研究内容,制定了施工过程中的变形控制措施。

因此,本研究将以人高路二期道路工程(K0+000~K1+240)项目中风化硬质岩层圆形顶管工程为依托,对开挖工况进行分析,确认水钻法开挖超前进尺深度,通过不同工况下开挖管道内收敛情况以及地表沉降情况,进行方案分析比选,并结合底层岩性结构判断最大进尺,同时分析比选工况对地表沉降的影响。

一、工程概况

人高路二期道路工程(K0+000~K1+240)该项目顶管工程横穿人高路二期的污水管采用d1000顶管,在地通道右侧新建顶管工作井,向左侧顶管,顶出顶进、明挖分界线,顶管施工长度48.4m。施工场地上方有已完工车行地通道,因此需对开挖进尺深度控制进行分析。

根据图2地勘剖面显示,该段顶管工程穿越岩层中风化砂岩。本研究将通过有限元分析确认自然地面以及施工过程中的开挖风险点。

该方案顶管岩层的开挖同样采用水钻法进行施工采用钻筒直径为150mm水钻机在岩面设计圆周钻孔,取芯圆孔相连,取芯圆之间的距离为130mm。钻孔时向管壁外侧倾斜约3°,预留出钻具的尺寸。待钻至深度600mm时,调节手动调位器缓慢退出钻筒,在钻缝中打入钢钎,折断钻芯,下铁丝套环取出高约为600mm的圆柱体钻芯。水钻施工一边进行,一边对取出的钻芯组织外运。随后继续进行下一循环的钻孔施工。

二、有限元模型的建立

本研究将采用Midas GTS NX软件进行开挖工况的有限元分析,Midas GTS NX为一款岩土工程有限元分析软件。GTS NX软件界面简单,功能强大^[4]。可建立2D、3D有限元模型,覆盖了地铁工程、隧道工程、市政工程、水利水电工程、边坡工程、桩基工程、矿山工程等领域,且也成功应用于5000多个实际工程项目^[3]。

本研究首先采用软件建立管道两侧三维有限元模型,中风化岩层计算参数如表1所示。

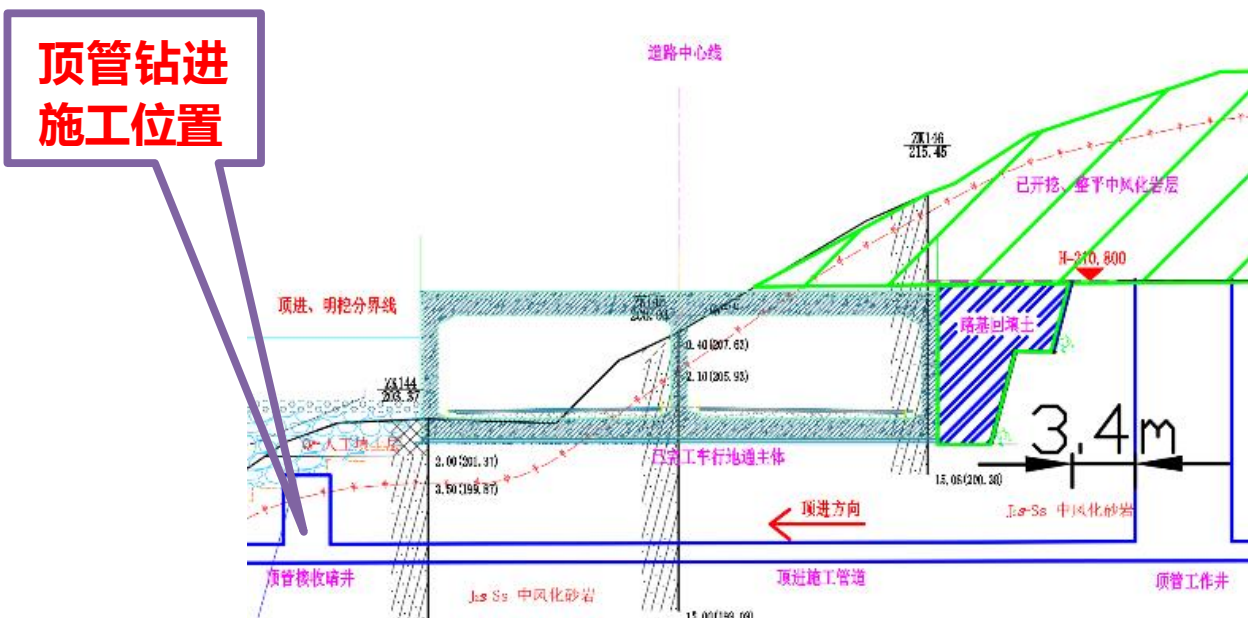


图2 顶管施工区域地质剖面图

根据基于采用的GTS NX软件进行分析时均采用Mohr-Columb模型进行参数的设置，因此本次研究同样基于该模型设置岩体材料的参数，模型材料特性设置详见表2。

根据地勘剖面的几何特性，3D模型图如图3所示。上层橙色部分为地道桥回填土层，下层为中风化砂岩层。

表1 岩体材料、属性参数表

编号	岩层	泊松比	容重 (KN/m ³)	粘聚力 (KN)	摩擦角 (。)
1	中风化砂岩	0.3	25.2	1311	35.96

表2 GTS NX材料特性设置表

编号	材料名称	单元类型	模型类型
1	中风化砂岩	3D	摩尔-库伦
2	混凝土管道	2D (板)	弹性

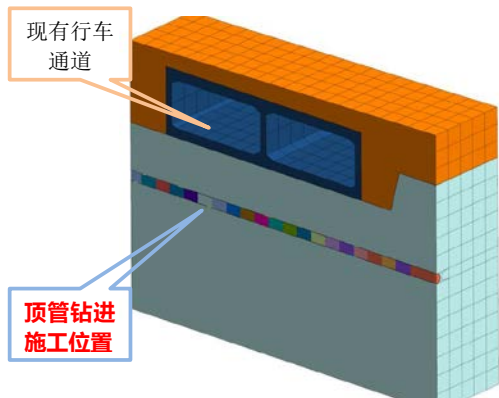


图3 施工工况3D断面

有限元分析将分为以下几个工况进行收敛值的分析：超前钻进1m以及不跟管钻进2个工况进行位移分析。

三、开挖过程中有限元计算结果分析

(一) 超前钻进1m施工工况分析

采用超前1m进行钻进，首节管道钻进长度=管节长度+超前钻进长度=2+1=3m。

由于施工阶段模拟过程较长，开挖阶段较多，因此仅对完成50%与完成100%的收敛情况进行对比分析，超前1m工况下的位移云图如图4和图5所示。

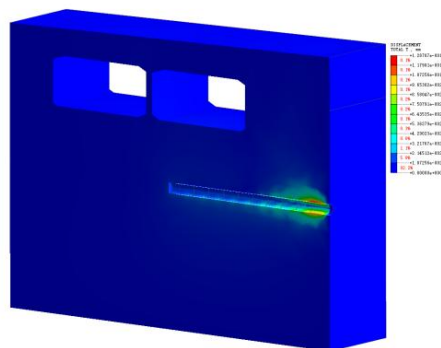


图4 超前钻进1m完成50%位移云图

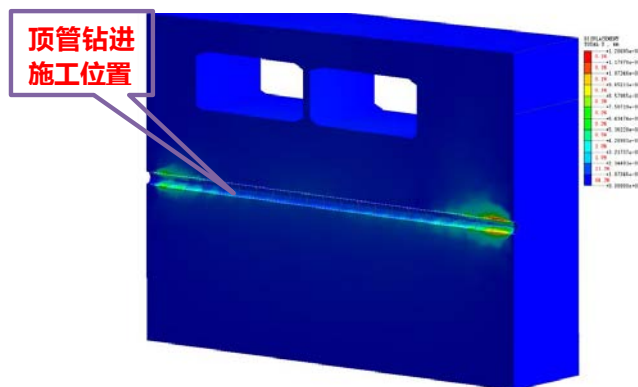


图5 超前钻进1m完成100%位移云图

如图4与图5所示，超前1m钻进产生的最大位移位于进洞和出洞口处，最大位移仅为0.128mm，因此可判定超前1m钻进对中风化硬质岩层的扰动较小。最大收敛处恰好位于车行地通道两侧，在进洞口处出现偏大的收敛原因为开始钻进的过程中对完成岩体开始产生扰动，因此开始钻进出现较大收敛。出洞口处产生较大收敛的原因为该处位于上方覆盖层为中风化岩层与填土层，与存在空心段的车行地通道不均匀沉降对岩层产生剪切力。

如图5所示，该工况下地表沉降主要发生在回填土与岩层交界处的不均匀沉降，该工况下最大地表沉降为12mm。考虑到上方为通行道路，根据《给水排水工程顶管技术规程》（CECS246-2008）中对地表沉降的要求：公路地面沉降量小于或等于20mm。因此，该工况对于上方构筑物影响较小。

由分析结果可知，超前钻进1m对岩层的扰动很小，地表沉降可控，未超过规范控制值20mm，可进一步分析超前钻进2m的工况。

(二) 不跟管钻进施工工况分析

采用不跟管钻进即进行全断面开挖出洞后在进行管道顶进的施工，收敛分析云图如图6和图7所示。

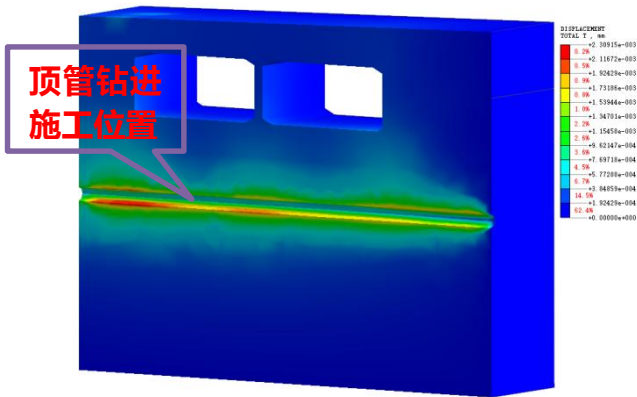


图6 不跟管钻进施工开挖位移云图

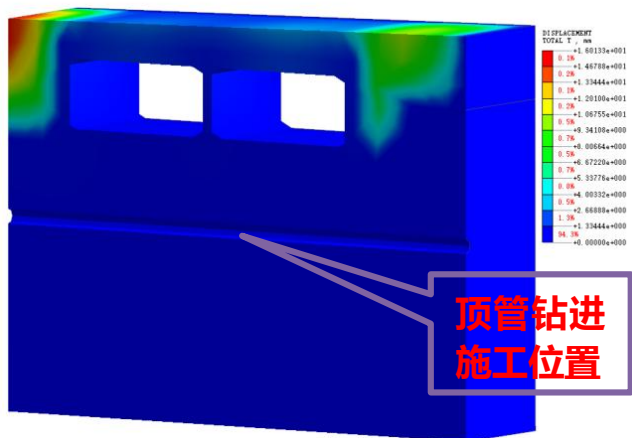


图7 不跟管钻进施工开挖地表沉降位移云图

由图6可知，不跟管钻进施工的收敛值较跟管钻进施工更小。由图7可知，采用不跟管钻进的工况下地表沉降主要发生在回填土与岩层交界处的不均匀沉降，最大值为16mm，由于车行地通道上方仍在进行交叉口路面工程的施工，因此沉降控制指标按照上方为公路进行控制。根据《给水排水工程顶管技术规程》（CECS246-2008）^[5]中对地表沉降的要求：公路地面沉降量小于或等于20mm，可判定不跟管直接开挖出洞施工造成的地表沉降影响较小。

(三) 两种工况对比分析

根据图5模型结果，两种方案下位移发展变化以及地表沉降对比如表3所示：

对比参数	超前1m钻进	不跟管钻进
最大收敛 (mm)	0.128	0.002
最大地表沉降 (mm)	12	16

根据表中对比分析结果可知，两个方案对岩层的扰动较小，且不跟管钻进对岩层的扰动更小。

不跟管钻进产生的地表沉降较超前钻进的沉降值大4mm，但16mm仍在规范要求20mm的控制范围内。

四、根据有限元分析结果确定开挖施工方案

根据有限元分析比选过程结果可知，在岩层强度较大的情况下，可以进行不跟管的施工，虽然不跟管施工会产生偏大的地表沉降，但考虑不跟管钻进施工效率更高且地表沉降可控，未超规范预警值20mm；因此可基于模型分析成果采用不跟管钻进的施工方案。

五、结语

本文以项目中风化硬质岩层水钻法顶管施工为依托，Midas GTS NX软件施工阶段分析的功能，对中风化硬质岩层进行了位移与沉降分析。在岩石强度较大，且地表沉降在规范允许的范围内，可采用不跟管直接出洞方法进行中风化硬质岩层顶管的施工，出洞后再进行管节顶进的施工。

参考文献

[1] 张小康, 丁亚明. 非炸药爆破破岩展望[J]. 广东化工, 2017, 44 (15): 132-133.
 [2] 孟宪翠, 蒙毅, 王前, 彭艺艺, 王龙杰. 水钻法应用于微风化岩层中大口径管道顶管的工程实践[J]. 给水排水, 2015, 51 (6): 95-98.
 [3] 黄加明. 大断面矩形顶管下穿合流污水箱涵变形研究[D]. 绍兴文理学院, 2022.
 [4] 彭远煌. Midas GTS NX 在边坡稳定性分析与评价中的应用[J]. 北方交通, 2018 (9): 80-82.
 [5] 《给水排水工程顶管技术规程》（CECS246-2008）[S]. 中国工程建设协会, 2008.