

北京地下直径线“CRD”工法计算与分析

丁祥¹, 林宝龙², 朱永全³

(1. 中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600; 2. 石家庄铁路职业技术学院, 河北 石家庄 050041;

3. 石家庄铁道学院 土木工程分院, 河北 石家庄 050043)

摘要:基于北京地下直径线工程 DK6+804.1~DK7+060 段的施工设计, 介绍了 CRD 工法施工工序, 并采用有限元程序软件对 CRD 工法施工的各步进行模拟计算, 并对计算结果进行分析。

关键词:地下直径线; CRD 工法; 地表沉降; 模拟计算

中图分类号: U45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-0300(2009)03-0057-04

连接北京站和北京西站的地下直径线工程, 全长 9.151 km, 其中隧道长约 7.3 km, 是目前国内城市最大直径的双线电气化铁路隧道工程。此项工程, 对缓解北京城市地面交通压力、方便旅客乘车、加强北京两大客运站运输枢纽的联系, 具有重要意义。

1 地质概况

隧道 DK6+804.1~DK7+429.45 段位于莲花池东路北侧机动车道下, 覆土厚度约 16.92~5.21 m, 该段范围内地下管线较多且对隧道施工影响较大, 与隧道平行(东西向)的主要市政干管有: $\Phi 1200$ 雨水管, $\Phi 400$ 煤气管, $\Phi 600$ 水管, $\Phi 1350$ 污水及市话、通信管道等。与隧道交叉的主要市政干管有: 污水 $\Phi 1050$, 热力 2650×2230 等。

此段隧道顶穿过的主要岩层为细砂④₃层、中砂④₄层、粉砂⑤₂层、中砂⑤₄层、粉质粘土⑥层; 隧道结构底板穿过主要岩土层为细砂⑦₄层、卵石⑦层、粉质粘土⑧层及所夹砂土层透镜体(局部夹粘土); 隧道边墙穿过主要岩土层为圆砾⑤层、卵石⑤₁层、粉砂⑤₂层、中砂⑤₄层、粗砂⑤₅层、粉土⑥₂层、卵石⑦层、圆砾⑦₁层、细砂⑦₄层、中砂⑦₅层。围岩受多期应力作用, 岩性软弱, 承载力低, 自稳性差, 属浅埋软弱 VI 级围岩, 开挖后易坍塌, 地表沉降难以控制。

2 工法选择及施工步骤

2.1 CRD 工法选择

为控制地面沉降变形, 确保周边高层建筑物和地下管线的安全稳定, 同时保证隧道结构和施工安全, 依据已建地铁大跨度双线隧道施工经验, 结合本段地质情况, 确定 DK6+804.1~DK7+060 段采用交叉中隔壁加横隔墙法(CRD)进行全暗挖施工, 此段埋深 5.21~10.07 m。衬砌段面如图 1 所示。

先采用密排超前小导管护顶, 并通过小导管向地层注浆, 以起到改良、加固地层的效果, 边墙设 3 m 长 $\Phi 25$ 中空注浆锚杆; 施工要落实“管超前、后开挖”的工序; 并及时在完成初支背后的回填注浆。

2.2 施工步骤

施工中应严格遵循“管超前、严注浆、断开挖、强支护、快封闭、勤测量”的技术要求。预支护、预加固一段, 开挖一段; 开挖一段, 支护一段; 支护一段, 封闭成环一段。

为了减少隧道施工对城市居民和周围环境带来不利影响, 保证施工时控制地层变形和维护开挖面稳

收稿日期: 2009-05-08

作者简介: 丁祥 男 1979 年出生 助理工程师

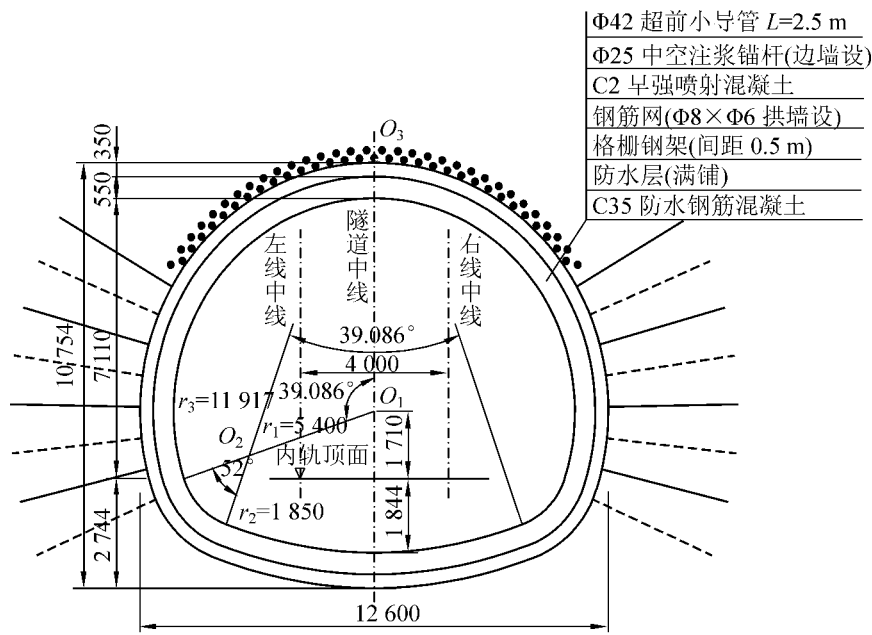


图 1 断面衬砌(单位:mm)

定以便能减少地面沉降,严格控制各台阶长度,CRD 工法如图 2、图 3 所示。具体开挖步骤如下^[1]:

- 第一步:拱部小导管超前注浆加固,开挖左上导坑 1,并及时网喷支护。
- 第二步:开挖左中导坑 2,并及时网喷支护。
- 第三步:拱部小导管超前注浆加固,开挖左上导坑 3,并及时网喷支护。
- 第四步:开挖右中导坑 4,并及时网喷支护。
- 第五步:开挖左下导坑 5,并及时网喷支护。
- 第六步:开挖右下导坑 6,并及时网喷支护。
- 第七步:局部拆除竖隔墙,施作仰拱衬砌。
- 第八步:局部拆除下层中隔墙,施作边墙衬砌。
- 第九步:拆除其余临时支护,完成衬砌。

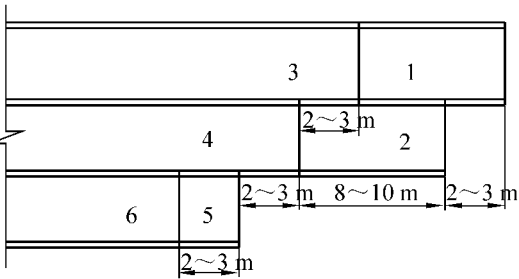


图 2 CRD 工法施工示意

3 暗挖施工有限元模拟分析

3.1 计算模型及计算参数^[2,3]

采用地层-结构计算模型,计算范围水平方向两侧各取 25 m,上取自地表覆土 8 m,下底边取距隧道底 24 m。采用大型有限元计算分析软件对开挖方案建立平面应变条件下的计算模型,模拟施工全过程。模型选用全牛顿迭代方法(Full Newton Method),屈服准则为莫尔库仑准则。计算模型考虑周边高大建筑物的附加荷载、地面车辆等超载,在地面施加 20 kPa 荷载。计算模型见图 4。

土体材料与衬砌接触采用共节点方式,假设面与面之间没有相对位移。土体和衬砌、用 2D 实体单元模拟,初期支护和临时支撑采用梁单元模拟。根据地质报告和地层的情况,计算参数选定见表 1,支护计算参数见表 2。

3.2 计算结果与分析

有限元动态仿真数值模拟计算内的主要考察结果是每个施工工序下地表的沉降和隧道拱顶的下沉量以及围岩的应力场等。

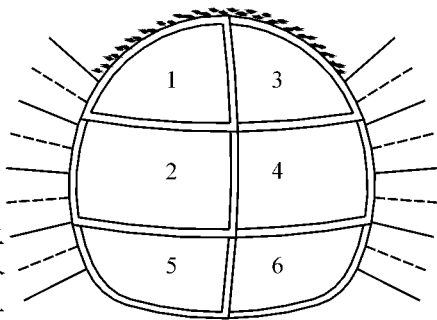


图 3 CRD 工法施工工序

表 1 土层主要物理力学特性

层号	岩土名称	天然重度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力/ kPa	泊松比	内摩擦角/($^{\circ}$)	弹性模量/ MPa
1	杂填土	15.68	0	0.38	5	6.0
2	细砂	20.09	0	0.30	30	30.0
3	卵石	21.07	0	0.26	35	90
4	圆砾	21.07	0	0.22	35	180

表 2 支护计算参数

支护类型	弹性模量/ MPa	粘聚力/ kPa	内摩擦角/($^{\circ}$)	泊松比
初期支护、临时支撑	29 500	2 000	45	0.167
二次衬砌	31 500	2 000	45	0.167

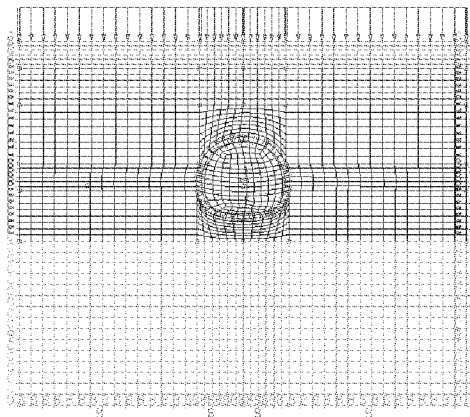


图 4 计算模型

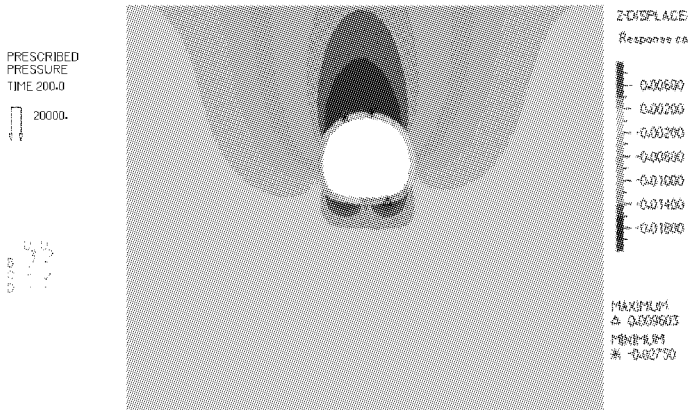


图 5 施工完成时位移云图

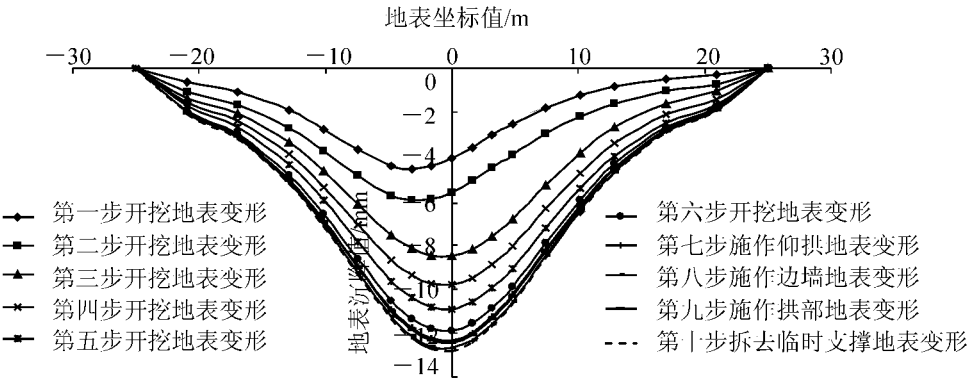


图 6 在不同施工步下地表沉降

(1)地表沉降。施工完成时竖向位移云图见图 5。图 6 为地面沉降随开挖过程的变化曲线图,开挖所引起地表沉降槽宽度约为 45 m 左右,地面沉降最大值为 15.84 mm,出现在隧道跨中靠左区域。地表的沉降量随着开挖深度而加大,拱顶围岩下沉量最大。洞顶的最大下沉量为 27.5 mm,洞底隆起量为 9.5 mm。在开挖过程中,拱顶的下沉量呈增加趋势,有可能开裂或局部掉块,但不会危及到整个断面;隧道洞身下部土体向上隆起,但很小,可以判定围岩在整个施工过程中处于稳定状态,在规范许可的范围之内。

(2)洞周土体主应力。各施工阶段土体的主应力等值线均近似平行于地表,且应力量级总体较低;洞周中上部及拱顶的土体围岩应力集中现象最为明显,最大主应力出现在拱脚和拱顶部位,第一主应力分布如图 7,第三主应力分布如图 8 所示。

(3)支护内力。拆除临时支撑后,最终初期支护结构典型截面安全系数见表 3。

表 3 最终开挖初衬典型截面安全系数表

部位	弯矩/($\text{N} \cdot \text{m}$)	轴力/ N	安全系数
拱顶	143 255	366 667	2.54
左拱脚	89 253	469 803	6.20
右拱脚	114 215	236 783	2.88
左墙脚	98 450	312 930	4.20
右墙脚	113 820	186 528	2.64
仰拱	49 860	245 638	10.79

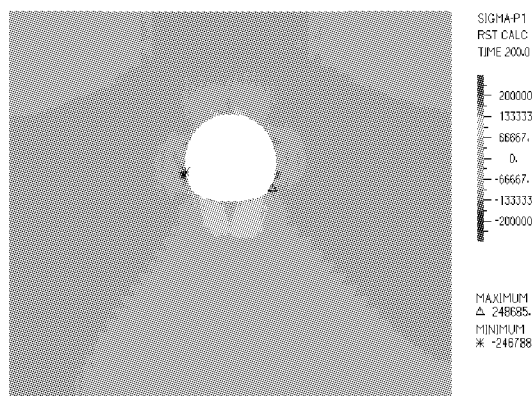


图 7 最终围岩第一主应力云图

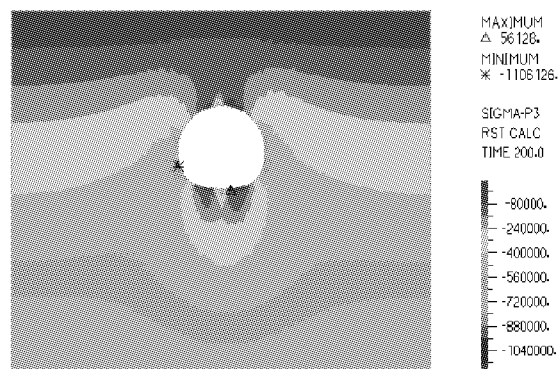


图 8 最终围岩第三主应力云图

4 结语

(1)隧道开挖中 CRD 工法施工,采用合理开挖顺序及注浆加固措施,能够较好地控制地表沉降,且整体结构受力合理,稳定性满足要求。

(2)隧道开挖过程中,洞周 2~3 m 的范围需要重点保护,所以在开挖过程中边墙施做 3.0 m 长中空注浆锚杆能够满足要求;围岩最大主应力主要出现在拱顶和拱脚处,隧道的拱顶和拱脚处支护应加强。

(3)各开挖步地层基本上无塑性区,地层稳定,开挖过程中,开挖完成后和拆撑时地表沉降有明显增加,施工中应加强监测。

综上所述,本区段隧道采用 CRD 法施工方案,能够较好的达到预期的目的,控制地面沉降变形。但在实际工程中,地下洞室在开挖和回筑过程中的反应非常复杂,受诸多因素制约,如场地条件、结构刚度、工程措施以及施工管理等均会对结构产生影响,虽然本文仅从理论上对 CRD 工法施工隧道的受力和变形性能进行了分析,但能够反映出结构受力和变形的基本特征,希望对工程实践具有一定的指导意义。

参 考 文 献

- [1]章立峰,刘建国. 地铁区间隧道施工过程动态模拟分析[J]. 铁道建设,2003,23(6):3-5.
- [2]李术才,王汉鹏,郑学芬. 分岔隧道稳定性分析及施工优化研究[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(3):447-457.
- [3]孙钧,侯学渊. 地下结构[M]. 北京:科学出版社,1988.

Calculation and Analysis of CRD Excavation Method of Beijing Rail Underground Transit Line

Ding Xiang¹, Lin Baolong², Zhu Yongquan³

(1. The Fifth Survey and Design Institute CO., LTD. of CRCC, Beijing 102600, China;

2. Shijiazhuang Vocational College of Railway Technology, Shijiazhuang 050041, China;

3. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The construction procedure of CRD excavation method is introduced based on construction design of DK6 + 804.1 ~ DK7 + 060 section of Beijing Rail Underground Transit Line Project. Each step of CRD method is numerically simulated by using finite element program and the results are analyzed.

Key words: Beijing rail underground transit line; CRD method; ground settlement; numerical simulation