

Research on Multiple Deformation Mechanism of Arch Frame in Deep Buried TBM Tunnel under Bad Geological Conditions

Zhenye Li

Xinjiang Shuifa Group Construction Company, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

Aiming at the multiple deformation of arch frame under adverse geological conditions of a deep buried TBM tunnel, this paper summarizes the geological characteristics, failure characteristics and replacement of arch frame in the multiple deformation section according to the actual situation of the construction site and the discovery of multiple bad geological sections, analyzes the arch convergence deformation results, settlement observation results and microseismic monitoring results, and obtains the multi-deformation mechanism of arch frame. Based on several field investigations and various construction experiences, this scheme has obtained some treatment experience, which provides convenience and experience for subsequent construction. In addition, the paper introduces the construction plan for multiple deformations of arches under adverse geological conditions, and the research content can provide reference significance for similar geological conditions in engineering construction.

Keywords

bad geological conditions; arch deformation; construction scheme

深埋 TBM 隧洞不良地质条件下拱架多次变形机理研究

李贞烨

新疆水发集团建设公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

论文针对某深埋TBM隧洞不良地质条件下拱架多次变形问题,根据施工现场实际情况以及多次不良地质段发现,总结了拱架多次变形段的地质特征、破坏特征和更换拱架情况,分析了拱架收敛变形结果、沉降观测结果和微震监测结果,得到了拱架多次变形机理。此方案根据多次现场实地勘察及各类施工经验总结得到了一些处理经验,为后续施工提供了方便和经验。此外,论文介绍了不良地质条件下拱架多次变形施工方案,研究内容可为相似地质条件工程施工提供借鉴意义。

关键词

不良地质条件; 拱架变形; 施工方案

1 引言

随着中国经济社会的发展和工程建设的需求,涌现了一大批深埋隧洞工程,由于深埋隧洞具备地应力高和地质条件复杂的特点,工程施工过程中面临巨大挑战,如高地应力条件下不良地质的安全施工问题尤为突出,易发生岩爆、大变形等工程灾害,不仅对工程施工进度产生重要影响,且一旦工程灾害发生,会对现场支护体系造成破坏,如提高拱架受力程度并造成拱架变形,进而对现场人员和设备安全形成严重威胁。众多学者对拱架变形特征和机理进行了深入的研究,张旗^[1]等分析了引汉济渭工程拱架受力特征及围岩变形规律,并总结了拱架变形阶段和过程;冯春萌^[2]等

通过数值模拟的手段对某深埋黄土隧道钢拱架受力变形特征进行了研究,总结了先行导坑初期支护应力分布特征和受力变形发生突变的原因;鹿伟^[3]综合数值模拟、室内试验及现场监测的手段对深埋隧道施工过程中装配式拱架支护体系失效机理进行了深入研究,并推导出支护特征曲线力学模型;韩佳伟^[4]采用FLAC3D数值模拟软件对新疆ABH输水隧洞工程泥岩隧道围岩大变形造成的拱架变形进行数值模拟计算,得到了造成围岩和拱架变形的机理;马海曜^[5]等采用试验加载控制系统在线了隧洞变形演化过程,并得到了软岩隧道拱架变形机制;李占先^[6]通过现场监测和数值模拟的手段对云桂铁路软弱隧道拱架初支后会发生S形变形的过程进行了分析,得到了拱架发生S形变形的原因。

综上所述,目前对于不良地质条件下拱架变形的机理研究较多,但研究均为拱架发生一次变形的机理,对于拱架

【作者简介】李贞烨(1993-),男,中国河南南阳人,本科,工程师,从事水利工程建设管理研究。

多次变形的机理未深入分析,此外,目前主要采用数值模拟和现场监测的方式对拱架变形机理进行研究,但现场监测数据较少。论文针对某深埋 TBM 隧洞不良地质条件下拱架多次变形问题,总结拱架多次变形段地质特征、围岩破坏特征和拱架变形过程,综合分析了拱架收敛变形结果、沉降观测结果和微震监测结果,得到了拱架多次变形机理,并给出了拱架多次变形段处理方案。

2 工程概况

某 TBM 隧洞 K32+093~K32+055 段施工过程中拱架发生多次变形,拱架变形段落埋深 715m,地质剖面图如图 1 所示。区域最大主应力为 13.1~21.6MPa,强度应力比为 2.77~3.6,为中等~高应力区。区域岩性为变质黑云母斜长片麻岩,颜色呈灰白、灰黑色,碎块状结构,围岩发育不连续的明暗交替层,暗色与浅色矿物呈定向或条带状断续排列,岩体中有暗色矿物夹层,与围岩接触部位结合能力较弱,沿裂隙有少量后期形成的钾长石侵染状分布。

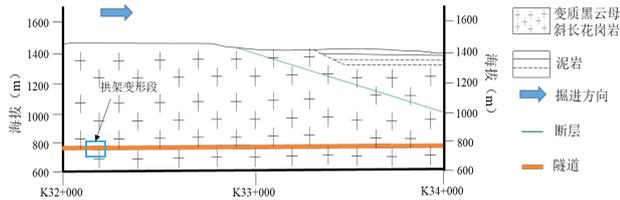


图 1 拱架变形段地质剖面图

区域主要发育 NE、NW 向节理,产状分别为节理组 1 (310°~320° NE ∠ 35°~45°) 和节理组 2 (45°~50° NW ∠ 20°~25°),节理面平直光滑,微张 0.5~5mm,有黑云母填充,其中节理组 1 位于顶拱及两侧边墙,与洞轴线近平行,长度大于 10m,节理组 2 与洞轴线呈大角度相交。该段属于贫水区,洞壁干燥,该段岩体较破碎,围岩不稳定,综合判定围岩类别为 IV 类围岩。

3 拱架多次变形段围岩破坏特征

K32+093~K32+055 段现场破坏以中等岩爆和应力型塌方为主,共发生中等岩爆 6 次,轻微岩爆 1 次,应力型塌方 5 次。K32+093~K32+055 段的典型破坏特征。

K32+069.6~066.2 区域 9.5—11.5 点方位发生中等岩爆,爆坑长 3.4m,宽 4.0m,深 0.8m。爆坑区域围岩岩性为黑云母混合岩化片麻岩,围岩完整性较好,局部发育 2 条硬性结构面并穿切爆坑。该岩爆属于典型的应变-结构面滑移型岩爆。

K32+071.5~064.8 区域 12—2 点方位发生应力型塌方,塌坑长 6.7m,宽 4m,深 0.95m。塌坑区域围岩岩性为黑云母混合岩化片麻岩,该区域暗色矿物较为发育,围岩完整性较好,塌坑内壁破坏呈现不规则状,塌落岩石主要呈块状、碎屑状、不规则状。

4 拱架多次变形段施工及支护情况

4.1 拱架多次变形段拱架初次支护情况

第 1 次拱架变形前 32+093.0~32+073.3 段初支情况,K32+093.0~32+073.3 段初次支护方式为 HW150 型钢拱架,拱架间距为 0.45m,共施做 47 榀,每榀拱架共计 4 根锁脚和锁腰锚杆,拱架间采用 [12 槽钢进行连接,环向间距 1m,拱顶 180° 采用 Φ20 钢筋排,每槽 1~4 根不等进行布置,180° 范围内施做 3.5m 自进式中空锚杆,未对 L1 区喷射混凝土。

4.2 拱架多次变形段拱架变形概况

拱架多次变形段掘进及拱架变形概况如图 2 所示,2 月 17 日至 2 月 24 日正常掘进,掘进桩号为 K32+093.0~067.8 段,2 月 24 日发现区域拱架发生变形后,对变形拱架处理至 3 月 8 日,恢复掘进后,3 月 8 日至 9 日掘进桩号为 K32+067.8~059.3 段,3 月 9 日发现拱架发生第 2 次变形,对变形拱架处理至 3 月 13 日,恢复掘进后,3 月 13 日至 18 日掘进桩号为 K32+059.3~052.5 段,3 月 18 日发生拱架发生第 3 次变形,处理至 4 月 7 日后恢复掘进。

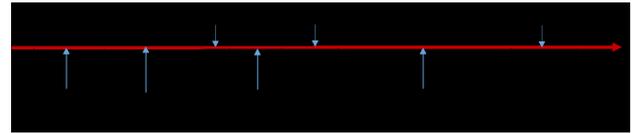


图 2 掘进及拱架变形概况

4.3 第 1 次拱架变形情况

K32+093.0~073.3 洞段拱架变形情况,2022 年 2 月 24 日发现 K32+093.0~073.3 洞段 47 榀拱架中有 18 榀存在局部变形,主要分布在隧洞 12—5 点位置。

4.4 第 2 次拱架变形情况

第 1 次拱架变形处理完成后,TBM 于 2022 年 3 月 9 日开始掘进,至 3 月 10 日共计掘进 8.5m,新揭露围岩段及时按照设计图纸进行了钢拱架安装、系统锚杆施作及喷射混凝土等系统支护,并对撑靴位置进行了封模注浆。发现原更换的 23 榀变形拱架中 13 榀再次发生变形。

4.5 第 3 次拱架变形情况

第 2 次拱架变形处理完成后,TBM 于 2022 年 3 月 14 日开始掘进,至 3 月 18 日共计掘进 8.5m,新揭露围岩段及时按照设计图纸进行了钢拱架安装、系统锚杆施作及喷射混凝土等系统支护,并对撑靴位置进行了封模注浆。因洞内抽排水原因,自 2022 年 3 月 19 日停机至 4 月 6 日。2022 年 4 月 6 日发现原更换的 23 榀变形拱架中 3 榀再次发生变形。

5 拱架多次变形综合监测结果

5.1 拱架收敛变形监测

2022 年 4 月 13 日至 2022 年 4 月 14 日,针对桩号 K32+093~32+055 洞段拱架变形情况,对该洞段初支断面进行了围岩收敛变形监测。共对 K32+083.85~32+062.13 洞段布置

监测断面 26 组，均显示拱顶及撑靴部位侵入初支轮廓线及拱架变形情况，典型断面根据扫描断面显示，撑靴部位存在内移现象，侵占设计初支轮廓线，底拱位置存在上抬现象，拱顶存在位置存在拱架侵占或超出设计初支轮廓线现象。

5.2 沉降观测

如图 3 所示，在隧道左侧拱顶共布置 7 个沉降观测点，用以监测围岩沉降速率和总下沉量。如图 4 和图 5 所示，自安装日期开始观测，沉降速率较大时间段每天观测 2 次，沉降速率趋于稳定后每天观测 1 次，该段最大下沉速率超过 30mm/d，观测总下沉量超过 120mm。截至 2022 年 4 月 14 日，沉降速率和观测总下沉量已趋于稳定。

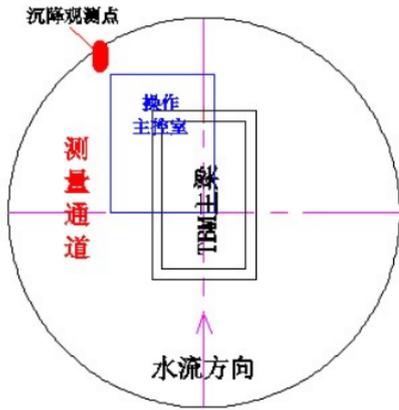


图 3 沉降观测点布置图

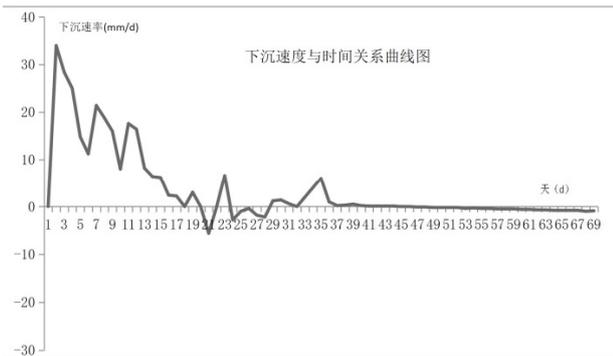


图 4 沉降观测下沉速度与时间关系图

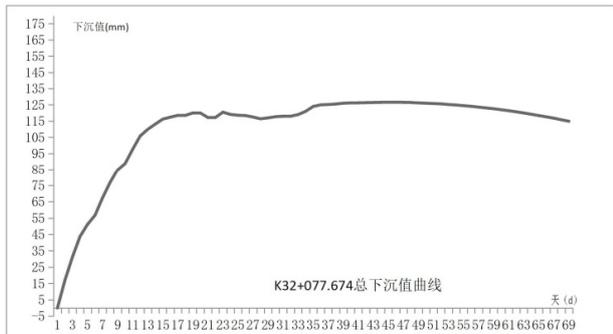


图 5 沉降观测总下沉量与时间关系图

5.3 岩爆微震监测

自 2022 年 2 月 24 日至 4 月 12 日，根据岩爆微震监测数据显示，K32+093~32+055 段累计微震事件数 227 个，累积微震释放能超过 $1.0 \times 10^6 J$ ，该区域潜在中等岩爆风险，此外，根据实际踏勘情况，现场共发生中等岩爆 6 次，轻微岩爆 1 次，应力型塌方 5 次。典型微震事件沿隧道轴向分布图分别见图 6。

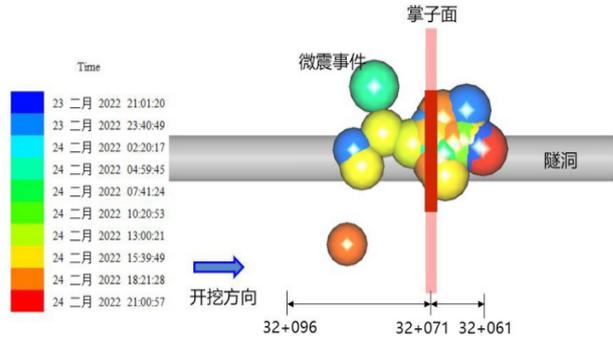


图 6 典型微震事件沿隧道轴向分布图

5.4 拱架多次变形原因分析

根据前文对于拱架多次变形段围岩破坏特征和地质特征总结，该段以中等岩爆和应力型塌方为主，且岩体中赋存有暗色矿物夹层，在高应力条件下，暗色矿物夹层及附近仍不断产生破裂，且在高应力环境中挤压，造成暗色矿物夹层附近的围岩变形，由于围岩变形的不均匀，围岩与钢拱架等支护体直接接触后会造拱架受力不均匀的现象，导致钢拱架局部位置受力超过拱架承受的最大限度，最终造成钢拱架变形失效。在拱架变形后对变形围岩进行凿除和围岩加固等处理，但由于未能形成主动支护，无法有效控制围岩内部破裂，在高应力条件下，仅靠外部加固的方式，围岩内部仍会不断产生破裂，进而造成围岩变形以及拱架的再次变形。

6 拱架多次变形段处理措施

在保障安全的前提下，拱架多次变形段依照先换后固的原则进行，首先做好安全防护，对变形拱架由后向前逐幅分段进行更换，每循环段变形拱架更换完成及时喷射混凝土封闭，并及时对顶部松散围岩进行固结灌浆及施作加强支护体系，直至全部处理完成。

6.1 安全防护

施工前对现场作业人员、现场技术员及安全员等进行安全技术培训及交底，提高现场作业人员责任心和安全意识，与洞外人员加强沟通，确保施工安全。为确保施工过程中人员与设备的安全，在拱架与主梁或连接桥之间施作 2 排竖向支撑，根据拱架变形情况局部部位施作斜支撑，同时保证逃生通道的通畅，严禁在逃生通道内放置杂物。因连接桥处无主骨架支撑，铺设两排纵向 HW150 型钢形成整体作为底部支撑点。为保障支撑的稳定性及刚性，竖向支撑及斜支撑均采用 HW125 型钢，长度根据变形拱架与主梁或连接桥

之间间距现场裁割,两端分别与拱架与主梁或连接桥处纵向型钢焊接牢固。

6.2 拱架更换

竖向支撑及斜向支撑施作完成后,保障安全的前提下,逐榀对变形拱架处混凝土进行人工凿除,根据顶部堆渣情况通过割除部分钢筋排等方式适量放渣,保证新换拱架净空,拆除变形拱架并根据测量断面更换新拱架,严禁再次侵占初支断面。拱架之间采用 [12 槽钢连接(梅花形布置),间距 1.0m,换拱后按循环及时对围岩进行喷混凝土封闭。因连接桥至拱顶高度较大,为方便人工凿除混凝土、拆除并更换拱架,在连接桥范围内及两侧搭设脚手架,铺设木板作为作业平台(距连接桥高度 1.0m 左右),确保方便、快捷施工。拱架更换及喷射混凝土封闭自 32+093 向上游推进,每 2~3m 作为一个循环,上个循环所有工序完成后方可进行下个循环的施工,直至全部完成。

6.3 围岩固结灌浆

每 2~3m 范围内变形拱架更换完成并封闭岩面后,拱顶 140° 范围内尽快进行固结灌浆,保证顶部松散围岩尽快形成整体,使拱架整体受力。固结灌浆由 32+093 位置向上游逐环推进。手风钻造孔并埋设中空锚杆进行固结灌浆。灌浆材料根据变形段围岩破碎程度及监测地应力释放情况确定采用化学材料(瑞诺加固材料 RNAK-11)或水泥浆液,钻孔深度 1.0~1.5m,钻孔外倾角 45°~60°,环向间距 2.0~3.0m,排距 1.0~2.0m,灌浆压力选取 0.75~1.0MPa。

7 结论

论文通过在总结拱架多次变形段地质特征、破坏特征

和拱架变形情况的基础上,结合围岩收敛变形监测、岩爆微震监测和沉降观测结果,得到了拱架多次变形的原因。该段围岩中赋存有暗色矿物夹层,在高地应力的条件下,暗色矿物夹层及附近岩体不断产生破裂,在高地应力环境下挤压,造成围岩产生不均匀变形,围岩与钢拱架直接接触,造成钢拱架受力的不均匀,进而造成拱架发生失效变形,拱架变形处理阶段未对围岩内部破裂进行主动控制,围岩后期仍会不断产生破裂,造成围岩变形和拱架的再次变形。通过对深埋 TBM 隧洞不良地质条件下拱架多次变形段机理的研究,可为拱架多次变形的预警和防控提供基础,并为相似条件下工程安全施工提供参考。

参考文献

- [1] 张旗,王浩杰,董鹏,等.引汉济渭秦岭隧洞围岩变形规律与拱架受力特征研究[J/OL].岩土工程学报:1-8[2023-08-30]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1124.tu.20230305.1346.022.html>.
- [2] 冯春萌,吴刚刚,付浪,等.深埋黄土隧道循环进尺施工钢拱架受力及变形动态特征研究[J].公路,2021,66(2):345-350.
- [3] 鹿伟.隧道装配式拱架支护体系失效机理与优化设计研究[D].济南:山东大学,2021.
- [4] 韩佳伟.深埋隧洞膨胀泥岩的流变特性及长期稳定性分析[D].石家庄:石家庄铁道大学,2022.
- [5] 马海曜,梅玉春,李为腾,等.软岩巷道钢管混凝土拱架支护关键问题分析[J].矿业研究与开发,2018,38(12):46-51.
- [6] 李占先.软岩隧道初支拱架S形变形原因分析及对策[J].山西建筑,2014,40(17):175-176.