

刍议软弱炭质板岩隧道大变形特征及应对措施

雷明深

中国铁建港航局集团有限公司第四工程分公司

摘要：随着社会经济环境的不断变化，建设项目逐渐增多。隧道穿越不良地层具有复杂性的特征，而隧道大变形是最为常见的一种施工问题，一旦发生该问题将对施工安全产生恶劣的影响，因此针对软弱炭质板岩隧道大变形必须引起重视，并采取切实有效的措施进行应对。本文结合具体工程实际，全面分析软弱炭质板岩隧道大变形施工，希望可以为相关工程防治提供借鉴和参考。

关键词：炭质板岩；隧道；大变形

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.06.022

一、前言

隧道软弱炭质板岩隧道大变形与隧道施工质量具有密切的联系，只有对大变形问题进行合理的控制，才能进一步保证施工安全，使施工质量符合要求。本文对相关研究成果进行总结，结合具体工程实际研究应对大变形的技术和措施，使相关人员可以对软弱炭质板岩隧道大变形特征有清楚的了解，结合其特征有效控制大变形问题。

二、工程概况

四川省九寨沟（甘川界）至绵阳段高速公路项目起于甘川界青龙桥，与G8513线甘肃省高速公路网两水~青龙桥高速公路衔接。LJ16合同段线路全长10.648公里，含双线长大隧道1座，特大桥2座，大桥3座，匝道桥3座，服务区1处，钢波纹管涵6道，避险车道1处，路基1.7公里。

自一里隧道为左右线分离式隧道，左洞2216m，右洞2322m。隧道洞身段穿越八洞沟断裂及其支断裂，该段为V级围岩，岩体极破碎，岩性为构造岩类，以炭质板岩为主，原岩结构、构造已基本破坏，矿物成分已显著变化，为软质岩，碎裂或散体状结构类型为主，层间结合能力差，自稳能力差。

三、软弱炭质板岩隧道大变形特征及原因

针对软弱炭质板岩隧道大变形来说，其在出现变形时会在隧道下部位置出现比较快的沉降，而沉降时间发生在台阶开挖后，或者开挖下台阶时也非常容易出现变形^[1]。仰拱封闭后隧道下沉速率会逐渐下降；随着仰拱的封闭会直接增加隧道拱腰收敛速率；如果隧道掌子面不能保持均匀的软硬度，很容易导致钢架出现质量问

题，使钢架失去支撑作用，出现断裂；炭质板岩如果含有比较多的水分也产生比较明显的变形，或者产生较大的收敛。

而之所以会发生大变形，主要就是因为这种岩质非常容易发生风化，透水性较差，会受到天气因素的影响，如果与风或者水接触将直接降低围岩的强度；炭质板岩以片状构造为主，每层薄面如镜子一般平滑，不同层不会互相黏结；受到隧道开挖影响，掌子面及炭质板岩风化速度会逐渐加快，强度降低，导致开挖面汇集了大量的裂隙水，对围岩产生恶劣的影响，使围岩出现不同程度的恶化；在具体工程实践中可以看出，开挖后掌子面出现了非常严重的剥落，以拱顶最为明显，拱顶剥落高度较高，可以明显地看出超挖问题，如果施工现场不能及时做好回填，基于炭质板岩的特点，拱顶将失去稳定性，进一步加剧拱顶的剥落，导致隧道周围松动圈范围不断延伸，对隧道结构产生较大的作用力。

四、大变形应对措施

在对炭质板岩隧道进行施工时，为了进一步保证施工安全，使施工可以顺利进行，必须合理把握施工要点，采取合理的措施应对和预防大变形。

（一）加强初期支护

结合国内外治理大变形的相关经验，需要对围岩进行针对性的加固，使变形可以得到有效的改善^[2]。结合炭质板岩的特点，初期支护必须保证拥有良好的柔度以满足软岩大变形需要，又要在一定时间内具备足够的刚度对软岩产生的过量变形进行有效的控制。

在具体施工过程中将单层支护与双层支护相结合，并科学设计支护方案，使单层支护和双层支护可以应用不同的方案开展施工。

在进行支护时支护时间非常重要，在确定双层支护时间时，需要以先放后抗为施工的主要原则，第一层支护不需要承担全部的变形，结合工程试验结果进行分析，如果锚喷混凝土结构在超过变形收敛高度，将彻底破坏支护结构，难以满足锚喷支护在功能方面的需要，因此必须对第一层支护及变形收敛进行观察，当到达一定高度时必须马上施加第二层支护，有效保护第一层支护的稳定性，避免收敛变形破坏第一层支护结构。对于隧道变形比较严重的位置，可以采取临时仰拱支护的形式进行支护，使上台阶支护结构受力可以逐渐减小，使

变形尽可能控制在合理的范围内，避免因变形产生安全事故。

（二）加强系统锚杆

隧道设计系统支护的主要目的就是提高围岩自身的稳定性，并利用钢架提供支撑，再通过喷射混凝土，形成完整的支护结构，所以也可以说锚杆在初期支护系统中具有非常重要的作用^[3]。锚杆的主要作用在于其可以从多层围岩中穿过，使围岩具有整体性的特征，从根本上提高围岩的稳定性，连接钢架和锚杆，可以有效提高钢架对周围围岩的抵抗性。在对以往工程治理隧道大变形治理经验进行分析后发现，隧道大变形通过系统锚杆的方式进行控制效果最为良好。

在具体施工过程中针对加强系统锚杆可以制定两种不同的方案。第一种方案深锚杆方案，锚杆长度必须以2.0m为界线深入松动圈，结合现场测量的相关数据，确定锚杆的具体长度，并对锚杆间距进行调整^[4]。第二种方案以系统锚管注浆为主，系统锚管使用小导管，保证每个小导管长度和间距相等，在加固地层之前需要钻设系统锚管，为了从根本上提高注浆效果，可以通过注浆加固的方式控制围岩变形。

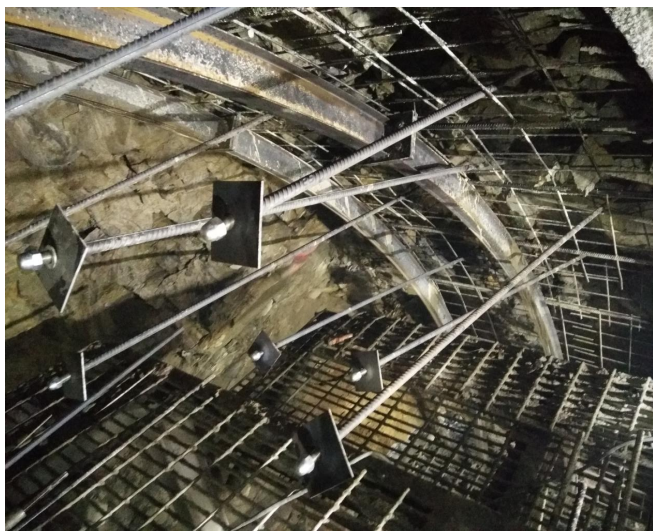


图1 系统锚杆施工

（三）强化锁脚，增强钢架纵向连接

对现场施工进行全面的监控，并对监控测量数据进行分析，从分析中可以明确看出，隧道拱顶松动圈会对隧道拱顶下沉产生直接的影响，因此，需要通过强化锁脚的方式对隧道整体下沉进行有效的控制，使钢架节点处受力性能可以进一步提升。

所有锁脚管均采用同一规格的钢花管，并结合设计方案调整钢花管长度，锁脚锚管向下倾斜四十五度后开始钻设，钻设结束后再向加固地层注浆；各台阶节点处

设置大拱脚，并增加节点处受力面积；将轻型工字钢设置于每个台阶的节点处，并对设置方向进行控制，以纵向作为设置的主要方向，使前后位置的钢架可以纵向连接。



图2 锁脚锚管施工

（四）优化施工工法

台阶法是软岩大变形隧道中最为常用的一种施工方法，分别进行不同台阶的施工以缩短支护时间，使板岩隧道可以得到彻底的封闭。从试验数据中可以明确看出，在下道台阶没有开始施工前变形量明显高于初期支护结构封闭后的变形^[5]。因此，在施工过程中需要重点关注短台阶，使各台阶施工可以有序进行，加快支护结构的封闭速度，使支护结构可以尽快封闭，对总体变形控制产生积极的影响。在全面分析施工工艺后，需要对各台阶长度进行合理的控制，避免其超过五米，以半个月作为台阶开挖和仰拱封闭的最后施工时间，使支护可以及时封闭。



图3 三台阶施工工法进行开挖



图4 超前导管钻孔施工



图5 超前导管施工

在对实际工程开展情况进行分析后，可以发现，采用不同的支护形式进行施工，对于控制变形问题具有显著的影响。为了更有效地控制工程变形，选择合适的支护形式至关重要。

首先，需要深入了解支护形式在控制变形中的作用。在工程实践中，支护形式多种多样，每种形式都有其独特的优点和适用范围。对于某些工程项目，单层支护配长锚杆方案可能是一个不错的选择。然而，对于收敛变形的控制，这种方案发挥的作用相对较小。相比之下，双层支护在控制收敛变形方面表现更为出色。这主要是因为双层支护能够提供更加稳定和可靠的支撑，有效地减少变形量，从而提高工程的稳定性和安全性。

为了进一步说明双层支护在控制收敛变形方面的优势，可以引用一些实证研究结果。据相关研究表明，采用双层支护的工程项目在收敛变形控制方面表现显著优于单层支护配长锚杆方案。这些研究数据有力地证明了双层支护在控制变形中的重要作用。

此外，还可以从施工工艺和工程地质条件等方面对双层支护的优势进行分析。在施工工艺方面，双层支护通常更加易于施工，能够缩短工期，降低施工成本。而在工程地质条件方面，双层支护能够更好地适应复杂的地质环境，提供更加可靠的支撑。

通过对实际工程开展情况的分析，我们可以得出结论：采用双层支护形式进行施工是控制变形问题的有效方法。相比之下，单层支护配长锚杆方案在收敛变形控制方面的作用较小。因此，在工程实践中，应该根据具体情况选择合适的支护形式，以确保工程的稳定性和安全性。

五、结束语

从本文的分析中可以明确看出，板岩隧道大变形会受到多种因素的影响，其中岩性、断层等是产生变形的最主要原因，而施工技术水平也会直接导致板岩隧道出现大变形。只有对软弱板岩的变形特征有明确的了解，分析出现大变形的具体原因，才能采取合理的施工方法开展施工，明确具体的支护参数，并做好现场施工试验，制定科学的大变形应对措施。为了彻底控制大变形需要以双层支护作为应对的主要方式，不断提高初期支护强度，纵向连接不同的钢架；在松动圈中深入深孔锚杆；针对已经出现的变形问题可以通过向板岩注浆的方式进行改善，使地层岩性可以逐渐改良；适当增加变形量预留空间；在进行开挖和支护时需要尽量提高施工进度，保证支护可以及时封闭。

参考文献

- [1] 王宾. 某高速公路炭质板岩隧道初期支护大变形处治技术研究[J]. 价值工程, 2019, 38 (24): 141-144.
- [2] 尹建勋. 软弱炭质板岩隧道大变形特征及应对措施研究[J]. 铁道建筑技术, 2019, 03 (07): 110-113.
- [3] 郭健, 阳军生, 陈维, 沈东, 刘涛, 柴文勇. 基于现场实测的炭质板岩隧道围岩大变形与衬砌受力特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38 (04): 832-841.
- [4] 尹逊峰. 高地应力炭质板岩单线铁路隧道大变形控制技术[J]. 安徽建筑, 2018, 24 (03): 154-156.
- [5] 刘阳, 伍晓军, 刘志强, 刘玉勇, 舒波. 关于炭质板岩隧道大变形机理及应对措施的探讨[J]. 现代隧道技术, 2019, 51 (06): 19-24.

作者简介：雷明深（1968—），男，四川省营山人，高级工程师，主要从事道路桥梁施工管理与科技研究。