

弱膨胀性泥岩大断面隧道的施工方法

徐广松 徐海童 王思文

南京长山建设有限公司，江苏南京，225000；

摘要：弱膨胀性泥岩大断面隧道的施工方法，包括以下步骤：步骤 S1：确定弱膨胀性泥岩大断面隧道的工程特性；步骤 S2：模拟泥岩受自身孔隙水影响发生膨胀的现象，选择若干种隧道施工方法，利用数值模拟分析确定最优施工方法；步骤 S3：采用数值模拟分析方法，确定最优施工方法的施工工艺参数；步骤 S4：在隧道现场布置监测断面测点，并对隧道现场进行量测，根据现场监测数据分析弱膨胀性泥岩大断面隧道围岩及支护结构的变化规律，并将现场监测数据与数值模拟的结果进行对比，验证最优施工方法及施工参数的安全性与可行性。本方法用工程特性分析、数值模拟分析和现场监测分析相结合的方法，得出有助于实际工程施工的结论和建议。

关键词：弱膨胀性；泥岩；大断面；隧道；施工方法

DOI：10.69979/3060-8767.26.02.038

1 背景技术

随着国家对西部地区规划和发展等一系列战略的实施，我国西部地区客运专线铁路也得到了迅速发展。但受西部地区复杂地形地貌等多方面因素的影响，客运专线铁路经常需要在复杂地质环境条件下修建不同的隧道，其中，在隧道修建时遇到泥岩、膨胀岩、黄土以及冻土等这些复杂施工问题也越发显著，特别是对于一些在泥岩等软弱围岩地质条件下修建的高速铁路隧道，其隧道围岩稳定性在这些地质条件下较差，如果不能采取有效的施工开挖方法将极有可能给隧道施工带来严重的危害，从而给今后隧道运营带来安全问题。同时，对泥岩等软岩地质条件下的隧道，受工程地质条件、不同施工方法和施工参数等影响，隧道开挖之后的围岩应力平衡状态受到了较为严重的破坏，从而会导致围岩及支护结构可能处于不稳定状态，围岩及支护结构一旦发生失稳将会危及整个隧道施工安全性，特别是泥岩具有一定膨胀性，泥岩隧道开挖断面大，从而造成泥岩隧道施工难度增加、施工稳定性变差，从而给隧道施工造成较大损失。因此，对于泥岩等软岩地质条件下，影响隧道施工稳定性等关键问题的解决，可为后期类似工程可能遇到的问题及解决措施提供参考。

2 技术方案

提供一种室内试验、数值模拟试验和现场监测相结合，确定了隧道最优施工方法和最优施工参数的弱膨胀性泥岩大断面隧道的施工方法。

弱膨胀性泥岩大断面隧道的施工方法，包括以下步骤：

步骤 S1：确定弱膨胀性泥岩大断面隧道的工程特性；

步骤 S2：根据弱膨胀性泥岩大断面隧道的工程特性，模拟泥岩受自身孔隙水影响发生膨胀的现象，选择若干种隧道施工方法，利用数值模拟分析每种施工方法进行施工时，对各种施工方法进行施工稳定性评价，然后基于数值分析得出的结果，确定用于弱膨胀性泥岩大断面隧道的最优施工方法；

步骤 S3：采用数值模拟分析方法，对确定的最优施工方法的施工工艺参数进行了数值模拟研究，确定了最优施工方法的施工工艺参数；

步骤 S4：在隧道现场布置监测断面测点，并对隧道现场进行量测，根据现场监测数据分析弱膨胀性泥岩大断面隧道围岩及支护结构的变化规律，并将现场监测数据与数值模拟的结果进行对比，验证最优施工方法及施工参数的安全性与可行性。

进一步地，所述步骤 S1 中弱膨胀性泥岩大断面隧道的工程特性通过对所施工隧道泥岩进行强度特性试验和膨胀率特性试验，根据试验结果分析确定。

进一步地，对所施工隧道泥岩进行强度特性试验的具体过程为：

S111：以所施工隧道泥岩，按照岩石试验规程，将泥岩试样加工成尺寸为 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的岩样，并将其端面打磨平缓，去掉密度差异较大的岩样，选择至少

三个岩样作为试验标准岩样；

S112：在天然状态下，对所选择的试验标准岩样进行单轴压缩试验，得出试验标准岩样的泥岩应力—应变曲线；

S113：对比每个试验标准岩样的泥岩应力—应变曲线，得出泥岩各岩样的单轴抗压强度最大值，然后计算试验标准岩样的平均强度；

S114：根据现有单轴抗压强度分级标准，得出所施工隧道泥岩的膨胀性。

进一步地，所述对所施工隧道泥岩进行膨胀率特性试验的具体过程为：

S121：对所施工隧道进行地质勘察，得出所施工隧道地质的自由膨胀率值；

S122：根据现有膨胀性软岩分级指标，对该地质条件下泥岩的膨胀性进行判定。

进一步地，所述步骤 S2 中，采用剪胀角近似模拟泥岩受自身孔隙水影响发生膨胀的现象。

进一步地，所述步骤 S2 中，选择的隧道施工方法包括两台阶法、三台阶法、CD 法和双侧壁导坑法。

进一步地，所述步骤 S2 中，对比分析各种施工方法的施工稳定性的具体过程为：

S21：选择 Mohr-Coulomb 本构模型作为膨胀岩本构模型，并利用 Midas GTS NX 进行研究分析；

S22：采用 Midas GTS NX 提供的“钝化”和“激活”功能，用“钝化”功能来模拟隧道开挖，而用“激活”功能来模拟隧道支护；

S23：根据不同隧道的施工方法的施工工序进行数值分析，其中隧道每次的开挖进尺为 2m，相邻台阶或导洞的施工错开 4m 进行开挖；而初支结构喷混和钢拱架、临时支护结构喷混和钢拱架均在一个施工步同时添加，且整体滞后隧道开挖一个步骤；而仰拱开挖和拆除临时支撑各为单独的一个施工步骤，且仰拱初支喷混滞后仰拱开挖一个步骤，仰拱二衬滞后仰拱初支一个步骤；

S24：以隧道开挖完成后的围岩位移及受力情况、支护结构位移及受力情况、围岩应力与塑性区分布作为各施工方法施工稳定性的评价指标；

S25：对比各施工方法中围岩位移及受力、支护结构位移及受力、塑性区分布的情况，综合考虑加快施工

进度、节约材料、降低施工复杂程度，在确保施工安全、稳定和不耽误施工工期的前提下，选择施工稳定性最优的施工方法为用于弱膨胀性泥岩大断面隧道的施工方法。

进一步地，所述步骤 S3 中，采用数值模拟分析方法，对确定的最优施工方法的施工工艺参数进行了数值模拟研究的具体过程为：

S31：构建台阶高度和台阶长度的数值分析模型，在模型四周添加 X 轴、Y 轴方向的水平约束以及模型底部 Z 轴的竖向约束，其中 X 轴负方向为隧道开挖方向；

S32：针对构建的构建台阶高度和台阶长度的数值分析模型，采用 Midas GTS NX 提供的“钝化”和“激活”功能，用“钝化”功能来模拟隧道开挖，而用“激活”功能来模拟隧道支护；

S33：针对构建的台阶高度数值分析模型，以台阶高度为单一变量，根据围岩位移及受力情况、支护结构位移及受力情况、围岩应力与塑性区分布三个评价指标，对不同台阶高度的施工稳定性进行对比，确定最优的台阶高度；

S34：针对构建的台阶长度数值分析模型，以台阶长度为单一变量，根据围岩位移及受力情况、支护结构位移及受力情况、围岩应力与塑性区分布三个评价指标，对不同台阶长度的施工稳定性进行对比，确定最优的台阶长度。

进一步地，所述步骤 S4 中，对隧道现场布置监测断面测点包括隧道拱顶沉降和净空收敛测点、围岩与初衬压力测点、钢拱架轴力测点、二次衬砌自动化监测点、分层沉降测点；

所述隧道拱顶沉降和净空收敛测点用于监测隧道位移情况；

所述围岩与初衬压力测点用于监测围岩与初衬压力情况；

所述钢拱架轴力测点用于监测钢拱架轴力情况；

所述二次衬砌自动化监测点用于监测二次衬砌受力情况；

所述分层沉降测点用于监测分层沉降情况。

进一步地，所述步骤 S4 中，所述将现场监测数据与数值模拟的结果进行对比的内容包括：位移对比、围岩压力对比、钢拱架轴力对比、分层沉降对比。

3 附图说明

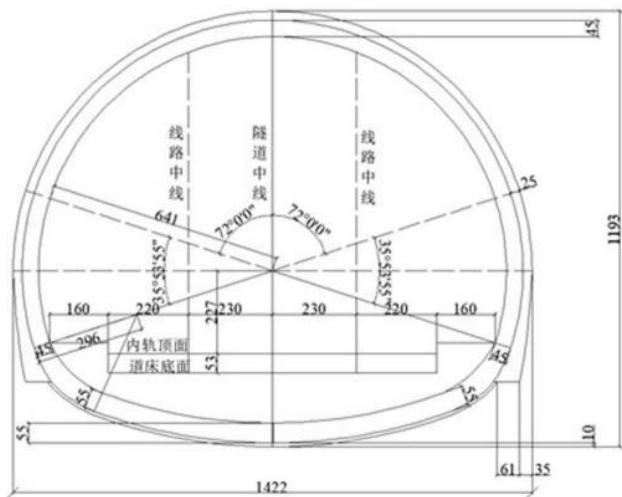


图 1 为实施例隧道的横断面设计图

4 有益效果

1、通过对弱膨胀性泥岩大断面隧道工程特性及施工方法进行数据模拟分析，能够确定隧道所在地质情况，从而获得不同施工方法的施工稳定性，进而判断该隧道的最优施工方法；

2、采用了 Midas GTS NX 对不同施工参数进行了研究分析，即分析了不同台阶高度及台阶长度下的围岩变形、围岩应力和喷混结构应力等变化规律，能够获得最优施工方法中的最优施工参数；

3、结合现场监测，对基于数值模拟确定的隧道施

工方案的施工稳定性态进行跟踪监测，得出经数值模拟分析确定的施工方法和施工参数在现场达到了安全快速施工的效果，从而验证了数据分析获得最优施工方法及其参数的安全性和合理性；

4、采用室内试验、数值模拟试验和现场监测相结合的分析方法，研究了在不同施工方法和施工参数下的弱膨胀性泥岩隧道开挖过程中围岩及支护结构的施工稳定性问题，确定了隧道最优施工方法和最优施工参数；并结合现场监测，对基于数值模拟确定的隧道施工方案的施工稳定性态进行了跟踪监测，验证了建议方案的安全性，用工程特性分析、数值模拟分析和现场监测分析相结合的方法，得出有助于实际工程施工的结论和建议。

参考文献

- [1] 吕春雷, 石洪超, 王金宝, 等. 弱膨胀性泥岩大断面隧道的施工方法: CN202311456905.5 [P]. CN117386379 A [2026-01-04].

[2] 蒋晓军. 高速公路膨胀性泥岩隧道施工技术研究 [J]. 工程建设与设计, 2018(3): 3. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2018.02.058.

[3] 鲁得文. 高速公路膨胀性泥岩隧道施工技术研究 [D]. 兰州交通大学, 2014.

[4] 李丰奎. 高速公路膨胀性泥岩隧道施工技术研究 [J]. 中文科技期刊数据库(引文版) 工程技术, 2023.