

基于复杂地质条件下铁路隧道施工技术研究

张彪

中铁十四局集团第三工程有限公司

摘要: 铁路隧道是国家轨道交通系统中的一个重要组成部分, 它的工程非常复杂, 建设的难度也非常大, 尤其在复杂的地形环境下, 对铁路隧道建设的技术提出了更高的要求, 要与实际的地形条件相结合, 对铁路施工过程进行完善和优化, 以保证铁路施工的安全性。在过去的十五年里, 伴随着中国轨道交通的不断发展和完善, 我国铁路基础建设事业得到了迅猛的发展。随着铁路网络的不断加密, 项目建设的规模也将不断扩大。本文在此基础上, 通过分析复杂地质条件, 针对铁路隧道施工技术应用中存在的问题, 采用案例分析的方式, 进行了具体的讨论, 并给出了相应的对策。

关键词: 复杂地质条件; 铁路; 隧道施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.19.062

由于我国地域广阔, 铁路运输线路较长, 因此不可避免会穿越一些地质条件较为复杂的区域, 在进行隧道施工时, 常用的施工技术有: 全断面开挖技术、台阶开挖技术和分部开挖技术等, 这些技术都有各自的优点和不足, 适用于各种工作环境及地质情况。因此, 在修建铁路隧道时, 要更加注重对地质条件的研究, 要对隧道的施工技术进行科学的选择并进行有效的监管, 从而使隧道的施工技术得到持续提升, 促进我国铁路建设事业的可持续发展。

一、浅谈铁路隧道在复杂地质环境中的施工难点

通过对铁路隧道建设的研究, 我们发现, 在复杂地质环境中, 隧道的建设和运营面临着如下技术难题: ①受地质环境影响较大。隧道一般都是跨山越岭, 有的甚至是在地下进行建设和工作, 其地质状况对其影响较大, 因此, 需要确保隧道项目地质信息的正确性和时效性, 并依据这些信息对其进行地质状况和可能发生的意外状况分析, 从而有效地确保轨道建设的顺利进行。②项目间的差异。由于各施工区段的情况各不相同, 所以在隧道工程施工过程中, 将根据洞内围岩的变化, 对隧道施工方案进行相应的调整, 保证隧道工程的顺利进行, 防止出现较大的偏差。③安全保障。由于隧道工程的施工作业存在着许多不确定的问题, 加上环境的复杂性和工作空间的局限性, 使用大型机械很难高效地进行工作, 而且还容易发生坍塌事故, 危及到了工程的安全, 因此, 必须对隧道施工进行安全控制, 才能使其发挥作用。

二、岩溶环境下的铁路隧道施工

(一) 岩溶环境概述

岩溶是由于地表和地下水, 化学和机械侵蚀以及可溶岩石的沉淀作用而形成的。在铁路隧道建设过程中, 岩溶段是一个普遍存在的问题, 尤其是在局部或整体工程建设过程中, 岩溶段的存在不仅会导致围岩可靠度下降, 还会给工程建设造成不利的影响, 给工程建设

增加了难度和隐患。如何保证在岩溶环境中安全可靠地进行施工, 已成为铁道工程建设中迫切需要解决的问题。对于在隧道上面或旁边的岩溶, 治理起来相对容易一些; 而对于处于隧道底端的岩溶, 则需要根据情况采取相应的措施, 以保证隧道地基的承载力和行车安全。因此, 开展铁路隧道工程技术的研究具有十分重要的意义。

1. 岩溶的形态

岩溶的地貌有很多种, 有石笋, 有石林, 有漏斗, 有溶蚀洼地, 有溶解平原, 有溶解山丘, 有天生桥, 有溶洞等等。

2. 岩溶发展的基础条件和影响因素

岩溶的发育需要4个条件: 可溶岩层的存在, 透水的可溶岩, 有侵蚀能力的, 而且是流动的水。除了这些基础因素之外, 地质因素还包括地层(含地层组合, 厚度), 构造(含地层产状, 地质结构等), 以及气候, 覆盖, 植被, 地形等地理环境因素。

3. 岩溶的发展规律

对岩溶发育阶段的影响, 既有横向的, 也有纵向的。岩溶在横向上的发展, 受地下水位变化的影响。在相同区域, 地下水变化较大的地方, 岩溶发育也较发达。地下水的变化趋势是由谷地到水岭中心有递减的趋势, 所以, 岩溶的发展也是由谷地到水岭中心有递减的趋势。在垂直纵向上, 由于地层中的裂缝随著深度的增大而减小, 所以, 在地下水流的作用下, 岩溶的发展通常是随著深度的增大而变弱。

(二) 工程概述

沪昆客专贵州段上院隧道位于清镇东(不含)~平坝南(含)区间, 双线隧道, 左右线线间距为5m, 隧道进口里程D1K760+125, 出口里程D1K761+040, 全长915m, 最大埋深约130m。隧道区覆盖层主要为第四系溶洞充填物(Q[4](ca)), 第四系全新统坡残积层(Q[4](d1+e1)), 第四系全新统坡洪积层(Q[4](d1+p1)), 下伏基岩为三叠系中统垄头组(T[2]1)灰岩。

隧区可溶岩地层三叠系中统垄头组(T[2]1)灰岩, 属于岩溶强烈发育的地层。据勘探资料DZ-TPS-06揭示, 溶洞直径达3m左右, 发育高度1246~1249m, 据调绘, 碳酸盐岩地层中浅部有较大岩溶洞穴。

隧道进口处发育两相通溶洞, DK760+150右侧35m为上洞, 洞口高程1260m, DK760+145段右侧35m处为下洞, 洞口高程1256m, 两洞相连。DK760+150段右侧溶洞平行于线位发育, 宽1~2m, 高1.5m, 水平延伸约15~20m, 溶洞洞底有水; DK760+145段右侧溶洞平行于线位发育, 宽0.5m, 高0.8m。水平延伸约15~25m, 溶洞洞底有水, 水量不大, 洞口至水面位置平距约15~20m, 调查时水深2~3m, 雨季水从洞口流出。该隧

道的D1K760+855~D1K760+900、D1K760+900~+990等段落位于灰岩区的岩溶发育段落，存在着很高的危险性，需要进行相应的治理。

(三) 隧道岩溶治理原则

在本工程的岩溶处理过程中，为了尽可能降低处理的难度，保证处理的质量，避免出现一些不必要的安全问题，一定要坚持“认清形势，因地制宜，消除水患，综合治理”的原则，需要事先对岩溶区域的规模、岩溶等级、地质和水文条件等有充分的了解，施工过程中采用全隧超前地质预报全程跟踪预测。在发育比较突出的地区，要尽量保持岩溶及地下水的完整性，不能随意封闭。同时，为避免水、泥等侵入岩溶区，需对洞口进行清晰的辨识，并配备适当的泵送装置，以保证工程的安全性。总之，在对隧道溶洞的治理中，应该采取大量的截流、堵漏和排水措施。

(四) 铁路隧道工程施工的岩溶段治理技术

1. 岩溶洞穴治理技术

隧道洞穴中的岩溶剖面部位不同，采用的处理方法也不相同，沪昆客专上院隧道中的岩溶洞穴主要表现为拱腰部、边墙部和底部的溶洞，其加固处理方法见图1。

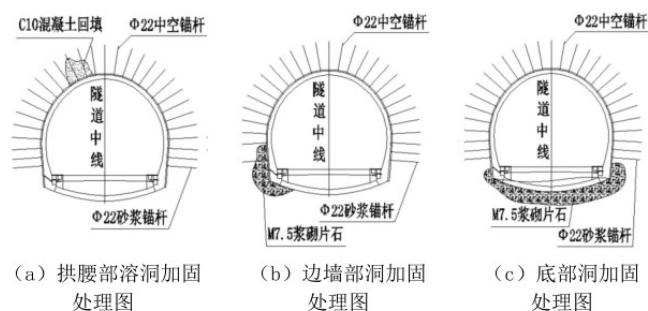


图1: 隧道岩溶加固处理图

(1) 在隧道的拱腰部位有岩溶存在。当岩溶位于隧道的拱腰时，可采用的处理技术有回填法、拱形防护+缓冲层法、拱形防护+缓冲层+喷锚网防护法、柱支撑法等，可有效地解决隧道拱形岩溶问题。对于穹窿以上的小型洞穴，采用回填式的方法，例如：无水洞穴和半充满的小型洞穴等；对于岩溶洞穴，如果只有一个小的或狭窄的岩溶洞穴，则采用拱状保护+缓冲层的方法；拱护+缓冲层+喷射锚网防护方法，适合各类岩溶洞窟，但要求岩溶洞窟顶部在岩溶治理上更稳定；柱式支护方法适合于大面积、竖向发展明显的岩溶洞窟，并要求洞窟顶面高于隧洞顶10m。在沪昆客专上院隧道中，常以C10混凝土充填来治理拱腰附近的小型溶洞。

(2) 在隧道侧壁部位有岩溶存在。对于在隧洞侧墙部位有岩溶的情况，可采取浆砌片石支护、挡土墙支护等措施。其中，采用浆砌片石支护方法，可用于无水空隙或半封闭的小型岩溶洞穴；对于深度受限的水下溶洞或比较大的溶洞，采用挡墙支顶方法是可行的。沪昆客专上院隧道在治理边墙部位的小型岩溶洞穴时，常使用M7.5浆砌块进行支护；大型岩溶溶蚀大厅采用砼护墙支护。

(3) 在隧道的底端有岩溶存在。在隧道的底部有岩溶的情况下，可采用回填法、钢管桩法、板梁交叉法等。对于巷道内的小型溶洞和半充型溶洞，采用回填式置换方法；对于岩溶段溶洞上部人工碎石土，下部充填较厚软塑状淤泥质黏土，采用Φ75mm（壁厚5mm）钢管注浆加固，间距0.8m*0.8m交错布置，加固深度为嵌入基岩不小于0.5m控制。在沪昆客专上院隧道，常用钢管桩群桩治理地下溶洞。

2. 洞穴处理

在进行铁路隧道工程时，岩溶洞穴处理的好坏会对整个工程产生重大影响。在此基础上，岩溶洞穴处理一定要仔细认真。为使岩溶断面的治理作用最大化，本工程采取了加固和通过溶洞的方式相结合，在岩溶洞穴处理中的应用技术主要有：

(1) 加强挡土墙固定。首先把里面的东西全部移走，再用砖头和石头砌成的墙壁把洞顶撑起来。如果地下有水流经过，就需要添加排水孔。为保证加强的作用，在巷道的边壁上，要留有洞口，而且要加设防护设备，例如防护链条或栅栏。

(2) 用钢框架把顶撑起来。在较深的洞室中，可采用钢拱或网格架加强。首先将钢框架的下半部分嵌入到岩石中，或在下半部分放置钢框架，再将框架的上半部分压在基础表面上，以保证支撑的完整性与稳定性。

(3) 用栈桥通过的方式加固，栈桥的底部是用来支持边墙加固的混凝土地板梁。

3. 典型案例

沪昆客专上院隧道D1K760+855~D1K760+900段岩溶发育情况及整治：

(1) 岩溶发育情况

上台阶掌子面施工至D1K760+901，掌子面揭示围岩岩性为灰白色薄~中厚层状灰岩，拱部右侧边墙位置揭示一溶洞大厅，大厅沿线路方向45m，横向发育约25m，洞底最低处比隧道底低约8m，洞顶岩体较完整，D1K760+865处洞底发育一消水洞向下发育。

上台阶掌子面施工至D1K760+865，掌子面揭示围岩岩性为灰白色薄~中厚层状灰岩，其中D1K760+874~+857段拱顶溶洞沿线路中线方向发育，宽2~5m，高5~8m，下雨时有暂时性水从洞顶流下，洞壁较完整。其中D1K760+865~+880段洞身穿越D1K760+901揭示溶洞大厅。

D1K760+860~+904段左侧边墙揭示一半充填溶洞，溶洞宽约10m，高约10m，溶洞下部充填软塑状淤泥质黏土，充填物最深达隧底约40m。



D1K760+901拱部右侧溶蚀大厅

D1K760+874~+857段拱顶溶洞

(2) 整治措施

D1K760+873~+874段边墙外溶腔于边墙外溶洞范围采用C20砼回填密实。

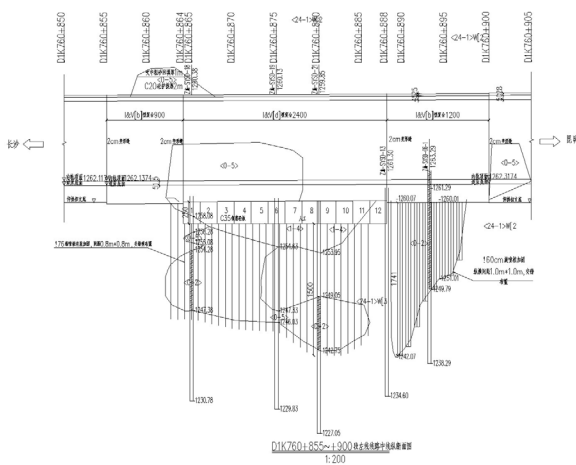
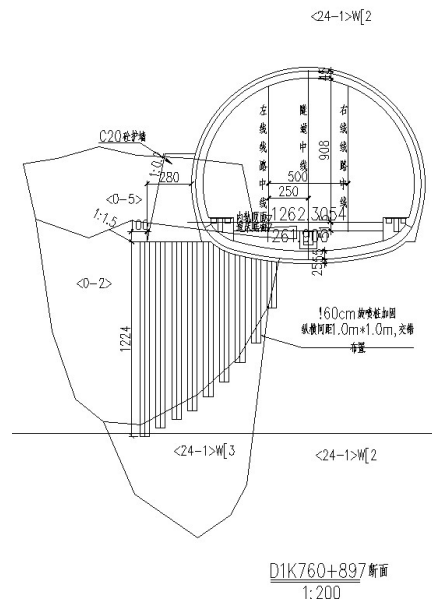
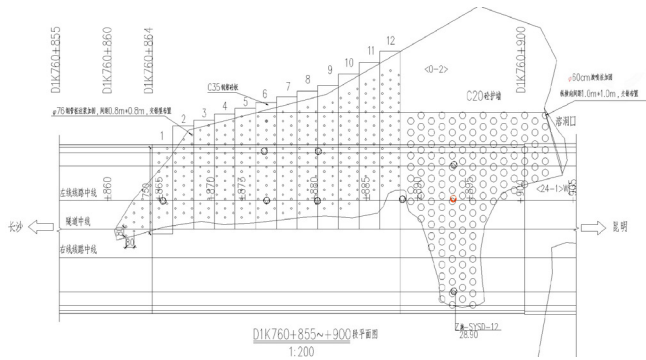
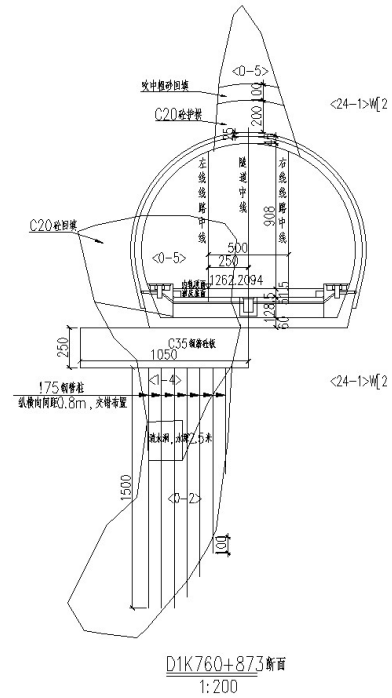
D1K760+874~+904段边墙外溶腔于边墙外溶洞范围设置C20砼护墙防护，护墙厚度不小于2m，外墙坡率为1:0.2。

D1K760+857~+874段溶洞空腔采用泵送C20砼，厚2m，C20砼上方吹中粗砂回填，厚度1m。

D1K760+864~+888段隧底岩溶采用2.5m厚C35钢筋砼盖板进行跨越，要求盖板基础嵌入完整基岩不小于1m。

D1K760+860~+888隧底岩溶段溶洞上部人工碎石土，下部充填软塑状淤泥质黏土，为加固基础，D1K760+864~+888段盖板下及D1K760+860~+864隧底岩溶段采用 $\phi 75$ 钢管（壁厚5mm）注浆加固，间距 0.8×0.8 m，交错布置，加固深度按15m与嵌入基岩不小于0.5m取小值控制。

D1K760+888~+904段隧底溶洞采用 $\phi 160$ cm旋喷桩进行加固处理，旋喷桩纵横间距 1.0×1.0 m，交错布置，桩底1.0m范围内需至少反复旋喷一次，以防止桩底与基岩面间衔接不到位。当旋喷桩遇到块石或者需要穿过基岩时，先采用 $\phi 89$ 地质钻孔开孔至设计深度再进行旋喷加固，当遇到软塑状黏土夹少量角砾时可直接贯入喷射管进行旋喷加固。



三、结束语

在铁路隧道工程中，由于其特殊的地质情况，需要对其复杂地质进行详细的调查研究和详细的分析，方能确保施工的安全和质量。岩溶剖面作为一种普遍存在于轨道交通中的地质结构，其对隧道的施工及后续工作都会产生很大的影响，需要根据岩溶环境的特点，采取适当的治理技术，降低其对隧道的破坏程度，保证各工序的高效安全运行，从而推动中国铁路交通行业的可持续发展。

参考文献

[1] 马留闯. 基于复杂地质条件下铁路隧道施工技术研究[J]. 大众标准化, 2022(20): 166-168.