

宜万铁路复杂岩溶隧道水害综合防治技术

马 栋

(北京交通大学土木建筑工程学院,北京 100044)

[摘要] 以宜万铁路8座I级复杂岩溶高风险隧道之一的大支坪隧道为背景,通过施工方案、防风险措施的不断研究与实践,总结出了复杂岩溶隧道规避风险、安全施工、防水害、结构安全的较成功的应对措施。

[关键词] 宜万铁路;复杂岩溶隧道;水害;防治技术

[中图分类号] U457 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)08-0094-05

1 前言

宜万铁路十六标段大支坪隧道地处湖北省巴东县境内,隧道全长8776m,为宜万铁路8座I级高风险隧道最具典型和代表性的隧道之一,是全线地质最复杂的岩溶隧道。工程风险大,集山区铁路“艰、难、险”之大成。其主要不良地质多呈现为岩溶发育强烈,地下水丰富,管道充填及暗河异常发育,极易发生突水突泥地质灾害。隧道发育5条大

断层,断层伴生岩溶影响带宽。

2 大支坪隧道水文及地质情况

大支坪隧道地处鄂西长江与清江分水岭的巫山山脉南端八面山系的中山区,隧道斜穿山体,最大埋深为700m。岩溶极发育,主要有石牙、溶沟、溶洞、漏斗、落水洞、岩溶管道、溶蚀裂隙、暗河等,且地表水补给迅速,设计最大涌水量为 $44 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。图1所示为大支坪隧道地质剖面及隧道平面设计图。

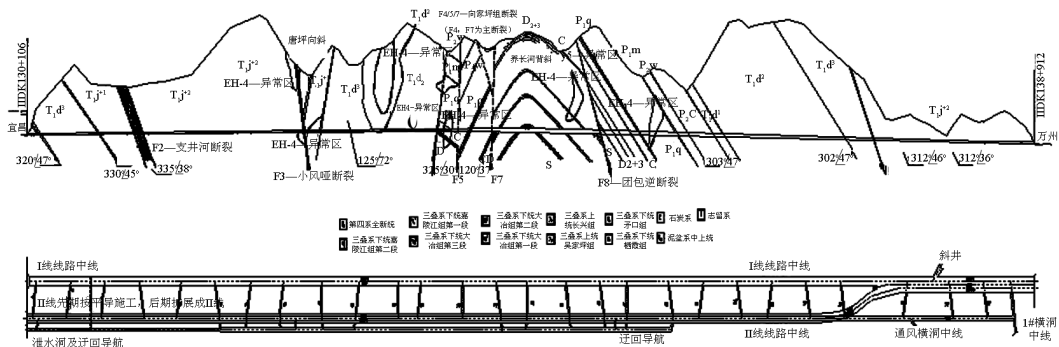


图1 大支坪隧道地质剖面及隧道平面设计图

Fig. 1 Geological profile and plane surface design of Dazhiping Tunnel

大支坪隧道自2004年8月份开工以来,历时3年,施工中先后超前探测到溶腔86处,其中大规

模突水、突泥溶腔14次,最大涌水量达 $36.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

[收稿日期] 2009-10-30

[作者简介] 马 栋(1963-),男,河南方城县人,教授级高级工程师,主要从事隧道与地下工程的施工、科研工作;E-mail:madong@ccrc.cn

3 复杂岩溶隧道水害防治综合技术

针对大支坪隧道复杂岩溶不良地质情况,为防范重大突水突泥地质灾害及永久运营结构防水害安全,在施工过程中,主要采用了综合超前地质预测预报、隧道围岩预注浆、迂回绕行、泄水洞排泄、防灾预警及救援等综合施工技术。

3.1 综合超前地质预测预报地质分级及方法组合

3.1.1 不同地质风险级别划分

1) A⁺级:可能发生大型~特大型突水突泥及重大物探异常段落。

2) A级:可能存在较大地质灾害的地段,如可能遭遇大型暗河系统,发育重大软弱、富水、导水性良好的断层;可能诱发环境地质灾害的地段以及高地应力、瓦斯灾害严重的地段。

3) B级:可能发生中~小型突水突泥、存在较大物探异常、断裂带等地段。

3.1.2 不同地质分级实施方法组合及频次

图2为不同地质分级实施方法组合及频次。

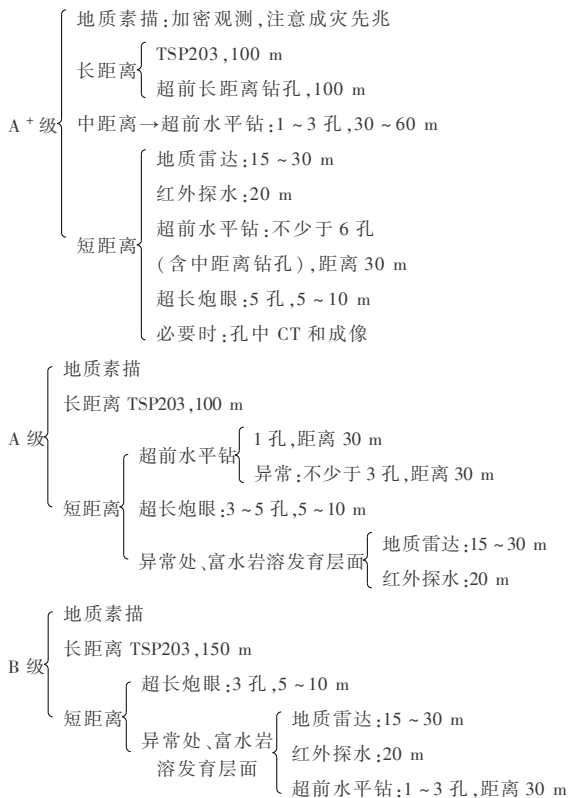


图2 不同地质分级实施方法组合及频次

Fig.2 Combination of implement method and frequency on various geological classifications

3.1.3 综合超前地质预测预报成果

大支坪隧道自2004年8月份开工以来,TSP203

预测预报累计完成176次;地质雷达630次;地质素描13 900 m;红外探水9 960次; ϕ 108 钻孔53 500 m;超长炮孔125 000 m。采用综合超前地质预测预报技术,成功规避了可能对施工安全造成重大威胁的地质异常体及高风险点86处。TSP对隧道地质异常的准确预报达到85%以上,采用综合预报手段未遗漏可能引发地质灾害的地质构造体,为工程正常进展提供了可靠的安全保障。

1) 大支坪隧道I线正洞DK132+291涌水综合探测实例:TSP203,地质雷达及超前钻孔均探明前方富水,I线正洞DK132+291及时采取了止浆墙封闭。经进一步探测,探明前方为一大型充填溶腔,最大日涌水量 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$,水压为0.8 MPa,为正确选定5 m帷幕预注浆、管棚及K1.0抗水压方案提供了可靠依据。现经实际开挖已证明地质超前预报的准确性。

2) PDK132+900掌子面涌水探测实例:大支坪隧道平导PDK132+900掌子面,3个水平钻孔未探到TSP203异常体,但掘进到PDK132+895里程时,布设于掌子面右侧拱脚的5 m超长炮孔钻探到岩溶管道涌水。超长炮孔探测见图3。

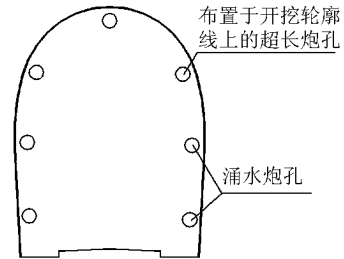


图3 超长炮孔探测

Fig.3 Exploring by super-long borehole

3.1.4 综合超前地质预测预报小结

在隧道施工中,有效应用隧道综合超前地质预测预报技术,不但规避化解了地质灾害的发生,而且超前预报及临近报警为提前制定合理施工预案提供了可靠依据,为隧道实现安全、快速、高效施工提供了可靠技术保障。

综合超前预报技术的各种手段也存在其各自的局限性,各种手段其探测的侧重点也不尽相同,更不能依赖单种预报方法,需采取多种手段、综合探测、相互验证、相互补充。而且综合超前预报技术的应用需要大量工程实践,需在施工中,不断积累经验,总结规律。

3.2 隧道围岩预注浆技术

3.2.1 注浆方案选择

注浆方案应根据隧道工程、水文地质情况初步选定,施工中根据超前地质预测预报成果调整完善,合理选择注浆方案。

1)超前帷幕预注浆:对可溶岩与非可溶岩接触带、断层破碎带及向斜核部、物探异常区等,预测储

水量大、水压高,直接揭示极可能产生严重突水突泥地段,采用超前帷幕预注浆方案。预注浆加固圈围结范围:正洞为开挖轮廓线外3~8 m;平导为开挖轮廓线外2~5 m。超前帷幕预注浆方案实例见图4。

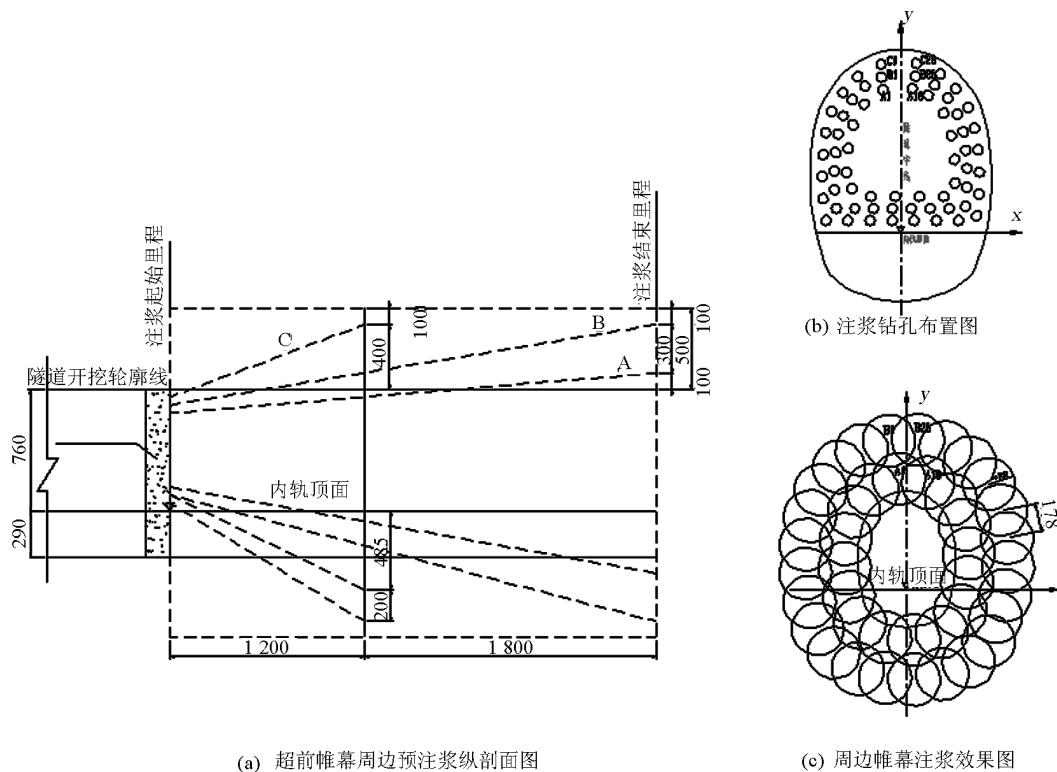


图4 超前帷幕预注浆方案实例(单位:cm)
Fig. 4 Example of advanced curtain pre-grouting schedule (unit:cm)

2)全断面径向注浆:对岩体完整、其结构性能可保证开挖安全,但大面积淌水流量大于控制排水量,且预测地下水压力较小时,实施开挖后全断面径向注浆,注浆加固固结范围:正洞为开挖轮廓线外3~5 m;平导为开挖轮廓线外3 m。全断面径向注浆方案实例见图5。

3)局部注浆:岩体完整、其结构性能可保证开挖安全,但局部出水且流量大于控制排水量时,仅对出水处实施局部注浆。

4)补注浆:注浆后流量仍大于控制排水量、注浆固结圈综合渗透系数大于设计控制值或仍有局部出水点时,实施补注浆。注浆加固范围如图6所示。

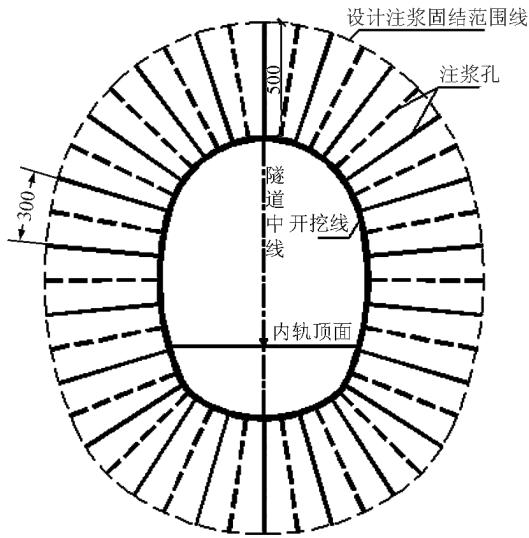
3.2.2 注浆应用实例

大支坪隧道穿越 DK131 + 155 ~ DK131 + 198, DK131 + 618 ~ DK131 + 650, DK132 + 290 ~ DK132

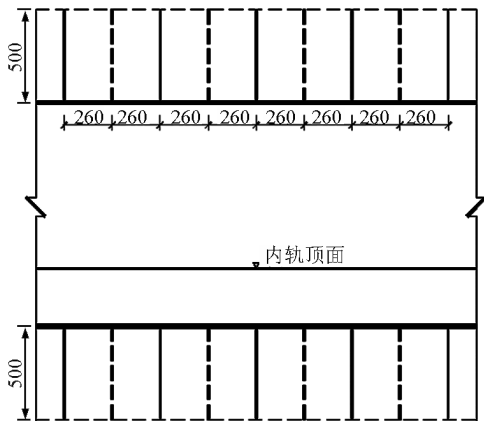
+ 320, DK132 + 940 ~ DK132 + 970, DK133 + 006 ~ DK133 + 036, II DK132 + 900 ~ II DK133 + 020 等富水段,超前地质预测预报均探明岩溶极为发育,涌水量大,水压0.7~1.2 MPa,地表水和地下水连通,直接开挖极易发生重大突水突泥安全事故。经方案比选,采用了“以堵为主,限量排放”的加固圈外5~8 m超前帷幕预注浆方案。截至目前,大支坪隧道已成功完成帷幕注浆12个循环,注浆效果良好,有效遏制了隧道涌水对施工及结构安全带来的威胁,安全顺利通过了不良地质段。下面为I线正洞DK132 + 291掌子面前方大型充填溶腔采用5 m帷幕预注浆、管棚及K1.0抗水压方案成功通过实例。现经实际开挖已证明帷幕注浆防水害的成功典例。

3.3 迂回绕行

喀斯特地区岩溶发育明显特征是岩溶发育的无



(a) 全断面径向注浆横断面



(b) 全断面径向注浆纵断面

图5 全断面径向注浆方案实例(单位:cm)

Fig.5 Example of full-face radial grouting schedule(unit:cm)

规律性、孤立性、突发性和复杂性。在综合超前地质预测预报精确探明前方地质情况下,遇灾害性岩溶强烈发育地段时,考虑正面突破风险大、时间长、费用高等特点,需采用“迂回绕行,降低风险,快速突破,反向处理,向前开辟工作面”的技术方案。迂回绕行作用为:a. 发挥其超前地质探测的作用,为正洞施工提供更为准确的地质预报,规避施工风险,保障施工安全;b. 可超前正洞向前开辟工作面,加快施工进度;c. 有利于施工通风和排水,改善掌子面的工作条件;d. 有利于施工及运营期间的逃生及

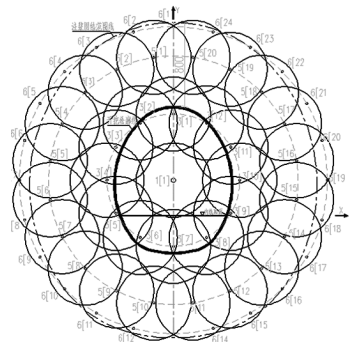


图6 注浆加固范围
Fig.6 Grouting range

救援。

3.3.1 迂回绕行实例1

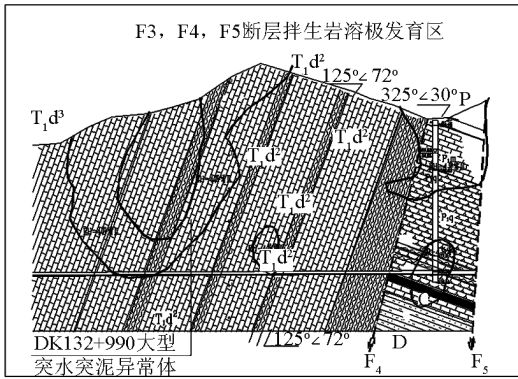
大支坪隧道Ⅱ线平导施工中,分别在 PDK132 + 936 遇顺层岩溶涌水、PDK132 + 960 处遇岩溶管道水,特别是 9 月 29 日当Ⅱ线按平导断面施工至 PDK132 + 990 时,拱顶突遇大型充填溶腔,造成较大突水突泥,水量约 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总突泥量约 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。根据设计资料显示,此大型异常区横跨 I,Ⅱ线及迂回导坑,影响区域宽 280 m,长约 440 m,异常区核心体积达 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上,多为岩溶发育充填流塑性泥砂及高水压。为早日实现安全突破,充分挖掘地质潜力,依靠技术手段,对地质进行精确探测,采取了“就地封堵+迂回绕行”的方案,在平导右侧 30 m 处设迂回导坑,见缝插针,利用岩溶发育较弱地带迂回通过,取得了成功。迂回绕行方案见图 7。

3.3.2 迂回绕行实例2

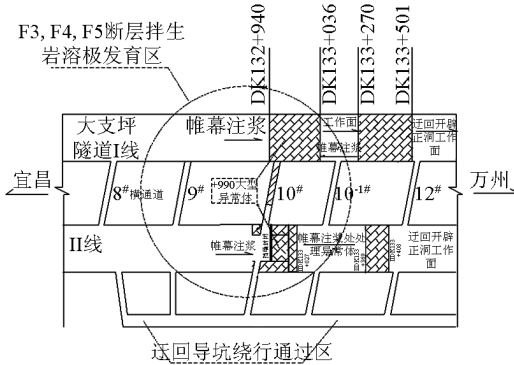
2005 年 5 月 24 日,TSP 及地质雷达探明平导 PDK131 + 547 掌子面前方地质异常后,为了进一步探明其富水规模,沿开挖轮廓线均匀布置了 6 个水平钻孔,掌子面右侧探孔出现较大涌水,左侧探孔均无水。据此及时确定了自掌子面左侧绕行快速通过的掘进开挖方案,成功绕避(见图 8)。

3.4 泄水洞排水降险

大支坪隧道岩层破碎、岩溶极发育,多处为地下水汇集处,具有强烈富水性和透水性,隧道涌水点多与地表有较强的水力联系,易形成较大规模突水、突泥。为防止只堵不排造成的水压积聚风险,单由较强抗水压支护结构抵抗外荷载,不仅费用高,施工难度大,而且易为今后运营水害埋下永久安全隐患。为了确保施工及今后运营安全,防止由于过量排水



(a)



(b)

图7 迂回绕行方案

Fig. 7 By-pass construction schedule

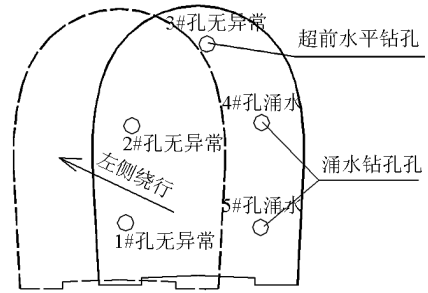


图8 PDK131+547 岩溶管道探测及迂回绕避

Fig. 8 Exploring karst conduit and by-pass construction in PDK131+547 section

造成水环境过度改变,采用了“堵排结合,限量排放,增加泄水洞”的设计及技术方案,不仅保持了水环境,降低了抗水压结构费用,而且可通过泄水支洞或暗涵与各高压涌水点相通,将涌水由设置在平行于正洞的贯通泄水洞直接排泄降压,以达到“堵排结合,综合治理”的目的。

4 结语

复杂岩溶隧道水害防治必须在综合超前地质预测预报探明含水构造位置、结构大小、水压、水量及充填物性质的前提下,综合判释及评估其对施工及结构安全的风险程度,坚持“堵排结合,综合治理”的施工及设计原则。同时为防止或减轻重大突发性地质灾害对施工人员及设备的重大伤害及损失,需完善防灾预警及救援系统,并进行定期检查及逃生演练。

Combined prevention and treatment technology on water disaster in complex karst tunnel of Yichang-Wanzhou Railway

Ma Dong

(School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

[Abstract] Based on Dazhiping Tunnel that is one of the eight complex karst tunnels with high construction risk on Yichang-Wanzhou railway, by unceasing study and practice on construction schedule and risk prevention measures, a series of successful treatment measures aiming at preventing risk, ensuring safe construction, preventing water disaster and ensuring structure safety were summarized.

[Key words] Yichang-Wanzhou Railway; complex karst tunnel; water disaster; prevention technology