

# 四川盆地上田坝地区在建隧道富水特征及预防措施

敬运龙<sup>1</sup> 吴诗雨<sup>1\*</sup> 陈敦理<sup>2</sup> 蒲端<sup>2</sup>

1. 四川沿江宜金高速公路有限公司; 2. 招商局重庆公路工程检测中心有限公司

**摘要:** 随着国家基础设施建设的不断推进, 隧道工程在各地的发展越来越快, 在建隧道数量不断增加, 地质条件越来越复杂。目前, 隧道涌突水已成为隧道安全施工的重要影响因素之一, 因此, 为保证隧道安全施工, 本文在总结以往隧道地下水发育特征的基础上, 结合四川盆地上田坝地区在建隧道地下水的实际发育情况, 以地质分析为基础对该地区在建隧道的富水特征进行研究, 结果表明四川盆地上田坝地区在建隧道主要为裂隙型储水和层间型储水, 并针对富水特征提出“详细的地质勘察、合理的防水设计、有效的排水措施、加强施工监控、培养专业人才、引入先进技术、加强风险管理”等预防措施。本文研究成果将对国内在建富水隧道的安全施工起到一定的指导意义。

**关键词:** 隧道安全施工; 裂隙型蓄水; 层间型蓄水; 预防措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.03.051

## 一、引言

中国地势特点为西高东低, 西部以高原、山地为主。近年来随着交通运输的发展, 高原、山地地区成为公路建设主要区域, 中国西部山地的面积占比可达75.1%, 公路建设多以桥隧为主。云南、贵州、四川、广西等地主要为岩溶地貌, 岩性以碳酸盐岩为主, 区内经历过多次的构造运动, 地质条件复杂, 新构造运动活跃, 水系发达, 地下水分布广泛, 地表及地下岩溶大量发育<sup>[1]</sup>。

在建隧道发生涌突水时, 首先会耽误施工、还可能损坏施工的仪器设备, 事件严重时还会造成人员伤亡及大量财产损失。灾害的连锁反应可能次生地面的岩溶沉降甚至坍塌、暗河改道、水源断流、地下水污染等一系列不可逆的环境破坏<sup>[2]</sup>。

2007年垫邻高速在建隧道明月山隧道发生重大突水、突泥事件, 日涌水量达到5万m<sup>3</sup>, 连续出水近15个月, 施工当日掌子面桩号为K5+573, 出水特点为隧道拱顶上方突水、突泥, 大量淤泥涌入了隧道, 隧道150多米被掩埋, 同时, 突水突泥引发K5+610处地表发生塌陷, 对环境的负面影响颇为显著<sup>[3]</sup>。同年, 发生特大涌水突泥事件, 宜万线野三关隧道发生特大突水, 突水量达45km<sup>3</sup>/h, 造成10人死亡, 42人被淹。据统计, 仅该隧道就遭遇了76处岩溶岩腔, 发生突水突泥88次<sup>[2]</sup>。2015年叙大线中坝隧道叙永端左线导洞在DZK55+086段发生

突发性突泥涌水, 致使4名在主线掌子面作业的工作人员紧急被困。2016年11月19日, 河百高速平坎隧道发生突泥事件, 在左线进口掌子面ZK32+798段, 突泥泥量约10000m<sup>3</sup>, 填满隧道约90m, 使得4人失联<sup>[3]</sup>。

通过以上事件我们可以看出隧道涌突水的危害较大, 具有隐蔽性、突发性的特点, 往往在施工过程中突然发生, 对人身安全和经济财产造成较大的危害, 因此在隧道开挖过程中, 探明隧道的富水特征并采取有效的预防措施具有重要的现实意义。近年来随着经济发展的加速, 基础设施建设项目尤其是隧道工程日益增多。然而, 四川盆地上田坝地区紧邻金沙江, 地下水资源丰富, 地质条件复杂, 给工程建设带来很大挑战。本文将针对该地区在建隧道的富水特征进行分析, 并提出相应的预防措施。

## 二、地质背景

四川盆地上田坝地区地处川西南横断山系东北缘, 介于四川盆地和云贵高原之间, 地势西高东低, 倾向金沙江。地表起伏大, 地形崎岖。山脉多呈南西-北东走向, 岭谷相间, 属大凉山山脉, 区内主要为构造侵蚀、剥蚀中高山河谷地貌。隧址区地势高差悬殊, 气候变化显著。河谷干热、高山阴冷潮湿, 属典型亚热带气候区。据永善气象站、雷波气象站和中兴场气象站资料, 降雨主要集中在雨季4~10月。

上田坝地区地层为新生界第四系全新滑坡体(Q4de1)、崩坡积层(Q4c+d1), 下伏基岩为古生界二叠系下统栖霞组+茅口组(P1q+m)、志留系中统石门坎组(S2s)、龙马溪组(S11)、奥陶系中上统(O2+3)、古生界奥陶系下统红石崖组+下巧家组(O1h+q)、古生界寒武系上统二道水组(∈3e)、古生界寒武系中统西王庙组(∈2x)、古生界寒武系下统大漕河组(∈1d)、古生界寒武系下统龙王庙组(∈11)、古生界寒武系下统麦地坪组(∈1m)、上元古界震旦系上统灯影组(Zbd)。

金沙江为隧址区最大地表水体, 也是区内地表水和地下水排泄的最低侵蚀基准面。金沙江为长江上游, 流经云南高原西北部、川西南山地, 到四川盆地西南部的宜宾接纳岷江为止。地下水因含水介质的差异和赋水空间的不同, 可分为松散土层空隙水、基岩裂隙水和岩溶水。松散层孔隙水、基岩裂隙水贫乏, 区内岩溶较发育(图1.1)。

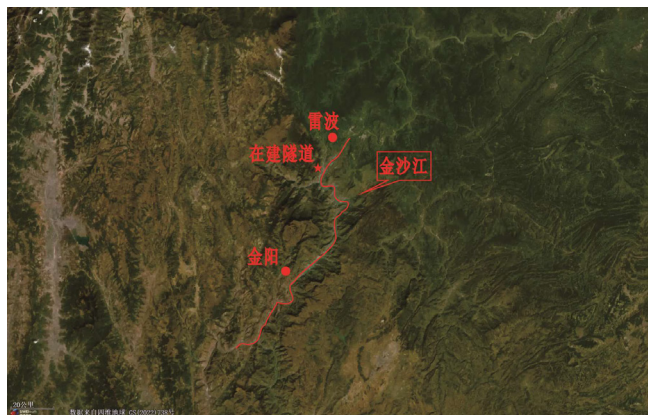


图1-1 隧道位置图

### 三、常见储水类型

常见的蓄水类型主要包括，裂隙型储水、断层型储水、层间型储水、溶洞溶潭型储水、地下暗河型储水。

断层型储水主要受断层的影响，在地质构造过程中，岩层受压张力过压力作用发生弯曲变形，同时断层两侧的地层受牵引力影响会产生大量的垂直于主断层的次生裂隙，在断层带影响范围内岩体较破碎、裂隙发育，易受地下水的侵蚀。同时碳酸盐岩地层在地下水长期侵蚀下，容易形成规模较大、给排水水条件好的储水构造。

裂隙型储水的储水能力主要受裂隙水运移补给条件影响，受构造作用的影响，发育节理裂隙具有集中型，在逐步靠近构造中心的过程中，可以观察到节理裂隙的渐进性增多，出水量增大。

层间型储水。一般不具备明显的地质边界，在物探设备成果中无法直接划定精确的地质轮廓。对于具备层间隔水特征的蓄水构造，其顶底边界一般就是透水性较差的地层边界，因而识别隔水地层就成了这类地质条件下超前判识水体的一个重要目标。层间型储水多表现在多层岩体间某些相对可溶的岩体经差异化溶蚀之后形成，岩层的顶、底界面往往是透水性较差的隔水层，多为泥页岩、硅质灰岩、泥质灰岩，在地层褶皱单斜构造处形成富水带。

溶洞溶潭型储水主要发育在岩溶强烈发育的地区，地层的主要岩性为碳酸盐岩，初始为构造运动形成的裂隙，随着时间的推移，碳酸盐岩受地下裂隙水的侵蚀逐渐发展为溶洞、溶潭，地下水在此富集，形成溶洞溶潭型储水结构。此类构造往往以溶孔、溶隙、岩溶管道等相互连通，同时与地表水相连形成较大的地下水运移循环系统，当隧道开挖至此处时易引起较大的涌突水事故。

地下暗河型储水主要在碳酸盐岩地层，是以溶蚀作用为主，岩层的层面和破碎带在地下水的溶蚀和侵蚀作用下，形成的以地下廊道、溶洞和溶蚀组成的一个复杂

的储水系统。

### 四、上田坝地区储水类型分析

四川盆地上田坝地区位于栖霞组+茅口组灰岩基岩陡壁，出口端洞口围岩为麦地坪组灰岩、含磷白云岩。岩性主要由灰岩、白云岩、白云质灰岩、粉砂质泥岩、粉砂岩及断层角砾岩、碎裂石等组成，属软岩~较坚硬岩。围岩总体岩性种类复杂，软硬变化大，层厚不一，层间结合较差。受断层构造影响强烈，产状较为陡直，局部甚至倒转，节理裂隙发育，局部发育层间错动带、节理密集带、岩体破碎。

截至目前，在建隧道地下水类型主要为裂隙水、呈小股状、淋雨状为主、涌突水产出，局部呈点滴状产出。出水特点主要为粉砂质泥岩段落沿围岩的节理裂隙及岩层倾斜方向呈小股状或淋雨状产出，越靠近构造中心渗流量越大，其出水特点符合裂隙型储水特征（图4-1）；灰岩段落出水量较大，出水地层的岩性为灰岩夹泥页岩，地下水以涌突水的形式从灰岩发育层段涌出，涌水量受雨季影响较大，其出水特点符合多层岩体相间，储水层为可溶蚀岩层（灰岩），顶、底层为透水性较差的隔水层（泥页岩）的层间型储水特征（图4-2）。

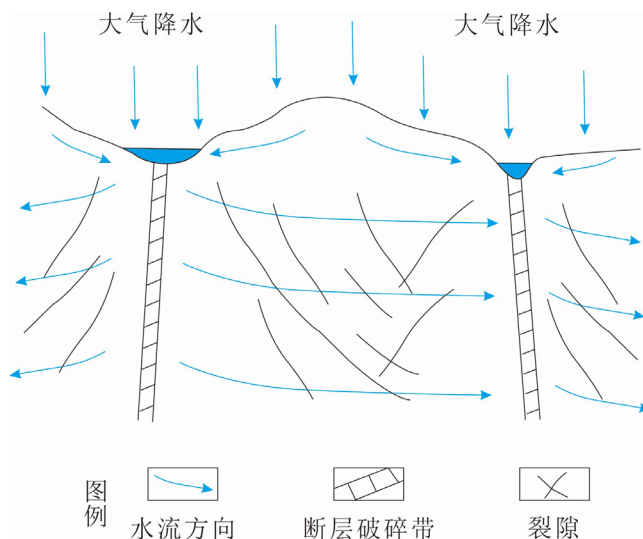


图4-1 裂隙型储水模式图

### 五、隧道涌水预防措施

通过以上分析可知，上田坝地区在建隧道的富水方式为粉砂质泥岩段落为裂隙型储水，呈小股状、淋雨状储水为主，裂隙型出水的危害主要分布在靠近改造中心的裂隙密集发育的位置；灰岩段落层间型储水，主要发育在灰岩与泥页岩互层的区域，出水方式以涌突水为主，受降水影响较大，出水量大，具有突发性的特点，对隧道施工危害性大。因此，为保证隧道安全施工，我们应从勘察、设计、施工、管理等多方面预防涌突水的

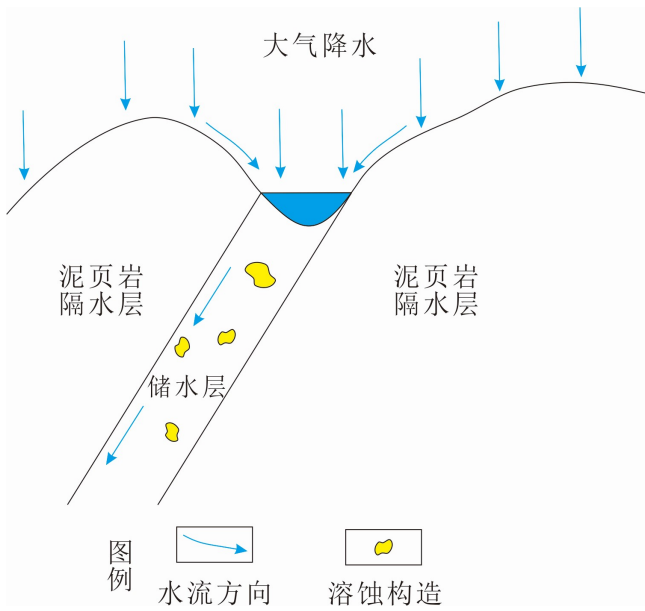


图4-2 层间型储水模式图

发生。

1. 详细的地质勘察：在隧道建设前，应进行详细的地质勘察工作，了解地下水的分布、水量和水压等情况。这有助于为后续的隧道施工提供科学依据，前当发现隧道实际情况与勘察情况不符时应及时的更正地质资料。

2. 合理的防水设计：根据地质勘察结果，进行合理的防水设计。包括选择合适的防水材料、确定防水层的厚度和铺设方法等。

3. 有效的排水措施：在隧道施工过程中，应采取有效的排水措施。例如设置排水沟、水泵等设施，及时将地下水排出隧道区域，降低水压对隧道施工的影响。

4. 加强施工监控：在隧道施工过程中，应加强施工监控，及时发现和处理可能出现的问题。特别是对于地下水的突发情况，应制定应急预案，确保施工安全。

5. 培养专业人才：在隧道建设过程中，应注重培养专业人才。这些人才应具备地质勘察、防水设计、排水措施和施工监控等方面的专业知识，以提高隧道施工的质量和安全性。

6. 引入先进技术：针对上田坝地区的富水特征，可以引入先进的防水和排水技术。例如使用新型的防水材料、设计专门的排水系统等，提高隧道施工的防水和排水效果。

7. 加强风险管理：针对可能出现的隧道涌水和突水等风险，应加强风险管理。制定详细的风险预案，提高防范意识，加强应急演练，确保在突发情况下能够迅速应对。

8. 公众教育和宣传：通过公众教育和宣传活动，提高公众对隧道施工安全的认识和重视程度。让公众了解隧道施工的难度和风险，并积极参与到隧道施工安全的监督和管理中来。

9. 跨部门合作：在隧道施工过程中，应加强跨部门的合作与沟通。建设单位、设计单位、施工单位和监管部门等应密切合作，共同应对隧道施工中的各种问题，确保工程质量和安全。

10. 考虑可持续性发展：在隧道设计和施工过程中，应考虑可持续性发展原则。合理利用地下水资源，避免过度开采和污染。同时，应注重节能减排和环境保护，降低对周边环境的影响。

## 六、结论

(1) 四川盆地上田坝地区地质条件复杂，地层性主要为灰岩、白云岩、白云质灰岩、粉砂质泥岩、粉砂岩等组成，区域岩溶发育，地下水主要为松散土层空隙水、基岩裂隙水和岩溶水。

(2) 常见的蓄水类型主要包括，裂隙型储水、断层型储水、层间型储水、溶洞溶潭型储水、地下暗河型储水。根据上田坝地区在建隧道的储水特点，认为该在建隧道的地下水主要为裂隙型储水和层间型储水。

(3) 四川盆地上田坝地区在建隧道的富水特征给工程建设带来了一定的挑战。为了确保隧道施工的质量和安全性，需要采取一系列的预防措施。包括详细的地质勘察、合理的防水设计、有效的排水措施、加强施工监控、培养专业人才、公众教育和宣传、引入先进技术和加强风险管理等。同时应考虑可持续性发展原则，为当地经济发展和社会进步做出贡献。

## 参考文献

[1] 王静爱, 苏筠. 王静爱, 苏筠. 中国地理纲要 [M]. 北京师范大学出版社: 202207.  
 [2] 张鹏. 山岭隧道突涌水灾害风险评估及防治措施研究 [D]. 西南交通大学, 2019.  
 [3] 曹放. 隧道涌突水超前判识与综合预测研究 [D]. 成都理工大学, 2017.

作者简介：敬运龙，男，汉族，出生于1989年1月1日，四川遂宁人。2010年毕业于四川交通职业技术学院，道路与桥梁专业，（专升本，长沙理工大学，交通土建管理专业），中级工程师，主要从事公路工程建设管理。

\*吴诗雨，男，汉族，出生于1994年4月，四川成都人，2022年毕业于贵州大学资源与环境学院，地质工程专业，硕士研究生，初级工程师，主要从事公路工程建设、安全、质量管理等相关研究工作。