

公路隧道施工涌水处治与计量计价

王朝杰¹,冯志华¹,樊浩博²

(1.河北省交通规划设计研究院有限公司,河北 石家庄 050051;2.石家庄铁道大学,河北 石家庄 050043)

摘要:作为公路隧道的一种特殊地质情况,涌水发生后会引起工程建设技术与管理上的难题,主要原因在于涌水处理时间周期长、管理单位多、规范条文分散,不同参建单位关注重点不一致,进而出现管理难题及不必要的争议。针对公路隧道建设中出现的涌水处治理念、勘察估算、计量计价、现场确认等关键问题,该文对现行规范条文等指导文件规定进行了系统梳理,调研了中国公路、铁路行业对隧道涌水与反坡抽水的处理方法,并结合已有的实践经验,指出建设单位、勘察设计单位、监理单位、施工单位合理分工及应当重点关注的事项,可为今后公路隧道做好涌水处治的建设管理提供有益参考。

关键词:隧道涌水;水文地质;反坡抽水量;堵水与排水;工程造价;合同管理

中图分类号:U459.2

文献标志码:A

Treatment and Measurement of Water Inrush during Highway Tunnel Construction

WANG Chaojie¹, FENG Zhihua¹, FAN Haobo²

(1.Hebei Provincial Communications Planning, Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei 050051, China;

2.Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang, Hebei 050043, China)

Abstract: As a special geological condition of highway tunnels, water inrush will cause difficulties in engineering construction technology and management. Unnecessary disputes and management difficulties will emerge when different construction units hold different views about the treatment measures of water inrush, which leads to distributed provisions in the specification and a long treatment period. In view of key problems about the water inrush during highway tunnel construction, including water inrush treatment concept, investigation and estimation, measurement and pricing, and on-site confirmation, this paper systematically sorted out the current regulations and other guiding documents and investigated the treatment methods of tunnel water inrush and reverse slope pumping in China's highway and railway industries. Besides, based on the existing practical experience, this paper pointed out important issues including reasonable labor division that should be considered by development units, investigation and design units, supervision units, and construction units, which can provide a useful reference for the construction management of water inrush treatment in highway tunnels in the future.

Keywords: tunnel water inrush; hydrogeology; reverse slope pumping capacity; water plugging and drainage; project cost; contract management

0 引言

由于隧道工程区域地质环境的不连续性与不确定性,施工中往往会遇到勘察报告之外的突发地质情况,其中较为典型的的就是涌水问题。长久以来,国

内外学者对隧道涌水的估算方法、处治技术及环境评价研究众多^[1-3],但针对整个工程周期管理内涌水量的处理做系统论述的研究较少,尤其是涉及不同参建单位不同权责分工,导致在施工中常常出现误解与争议,甚至给工程建设带来负面影响。

收稿日期:2024-03-03(修改稿)

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(编号:E2020210068)

作者简介:王朝杰,男,硕士,正高级工程师.E-mail:18756450@qq.com

2019年9月,《交通强国建设纲要》发布,确定了交通建设由高速增长向高质量增长的发展方向,隧道的建设也必将向着高质量、高标准、规范化方向前进。隧道工程涌水存在的技术上与管理上的模糊性问题亟须明确。正确地认识隧道涌水处理原则与管理政策对实现预期的建设目标、减少环境影响极为重要。本文将从涌水量如何估算、前期设计及后期施工如何处治、不同参建单位各阶段如何计价、施工阶段如何确认4个关键问题入手,结合中国不同规范、条文等文件的最新规定,以及公路铁路隧道已有的一些经验做法,指出各参建单位应从哪些方案考虑自身问题。本研究拟进一步明确隧道涌水问题中各方职责,并提出合理化建议,使隧道涌水问题的全过程管理更为规范化。

1 隧道涌水的危害

1.1 隧道涌水的含义

广义的涌水是指隧道施工期地层出水,例如地质勘察估算隧道涌水量大小。狭义上的涌水一般指地下硐室、巷道施工中突然出现大量地下水涌出情况。《工程岩体分级标准》(GB/T 50218—2014)^[4]对涌水强度进行了量化,如表1所示。以隧道每10 m出水段落每分钟大于125 L或出水压力大于0.5 MPa定义为涌流状出水。

表1 隧道地下水出流状态定量指标

Table 1 Quantitative indicators of tunnel groundwater outflow status

地下水出水状态	定量评价指标
潮湿或点滴状出水	水压 $p \leq 0.1$ MPa 或 $Q \leq 25$ L/(min · 10 m)
淋雨状或线流状出水	水压 $0.1 \text{ MPa} < p \leq 0.5 \text{ MPa}$ 或 $25 < Q \leq 125$ L/(min · 10 m)
涌流状出水	水压 $p > 0.5$ MPa 或 $Q > 125$ L/(min · 10 m)

在勘察设计阶段,对隧道分段出水量进行暂估,难以确定涌水点位。施工中,隧道掌子面遇到富水地质体后会出现集中的大规模出水,称之为涌水。显然,勘察设计阶段以处治预设计为主;施工阶段需要谨慎预防,根据具体情况处治。

1.2 涌水对工程建设的影响

涌水对工程建设存在多方面的不利影响^[5],产生投资增加、工期增长、安全管理风险增大等问题,具体表现为以下几点:

(1) 地下水的存在导致隧道开挖施工安全风险增加,软化围岩导致塌方等事故出现。

(2) 洞内不断出露地下水会明显降低施工工效,延长施工工期。

(3) 喷射混凝土回弹增大,质量控制难度大幅增加。

(4) 运营期间渗漏水风险增大,增大运维成本及运营风险。

图1~3为某富水地层特长隧道施工中的照片,持续的出水条件下,工人需穿着雨衣、雨鞋作业,同时洞内空气雾化严重,作业环境差。在北方地区,隧道渗漏水冬季冻结,威胁行车安全(图4)。



图1 隧道掌子面积水

Figure 1 Ponding on tunnel face



图2 隧道内湿度大产生水雾

Figure 2 Water mist in tunnel due to high humidity



图3 隧道掌子面作业环境变差

Figure 3 Worse working environment of tunnel face



图4 隧道运营期冻害

Figure 4 Freezing damage during tunnel operation

1.3 涌水对环境的影响

隧道涌水对工程环境的影响主要表现为对地下水系及周边生态环境的影响^[6]:

- (1) 施工期涌水流经作业面后被污染,直接排出会破坏环境。
- (2) 持续出水改变山体内水系分布,造成周边水塘、水井干涸等现象。
- (3) 山体表层补给与排泄失去平衡,有时会影响植被生存状态。

图5为同一隧道施工期抽水与运营期排水水质对比图,施工期水质明显浑浊。

图6为隧道地下水流失后典型变化图,隧道建成后地下水位下降,在干旱少雨的北方地区,由于补给较少,地下水位下降的深度和范围均较大。



图5 某隧道施工期与运营期水质对比

Figure 5 Comparison of water quality during tunnel construction and operation period

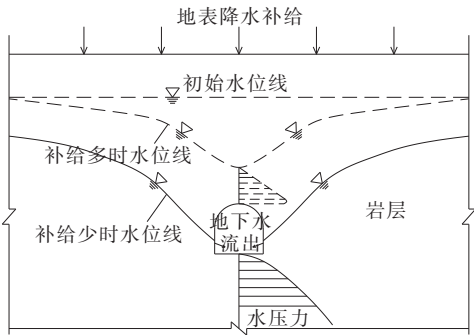


图6 隧道导致地下水流失演变图

Figure 6 Evolution of groundwater loss caused by tunnel

2 隧道涌水治理原则

隧道涌水的出现对工程建设与自然环境均有多方面不利影响,因此,堵水与排水一直是隧道工程的热点研究问题^[7]。山岭隧道施工涌水是堵是排的观念在不断变化,大致经历了3个阶段^[8],如表2所示。

表2 山岭隧道地下水排堵观念发展历程

项目	第一阶段	第二阶段	第三阶段
时间段	19世纪80年代之前	19世纪80年代到20世纪初	近十几年
中国规范中对涌水处治原则(公路、铁路隧道)	注重成本,以排为主	排堵结合,影响生活、生产用水时堵水	以堵为主,限量排放
社会与技术背景	隧道修建技术相对落后; 经济不发达;工程建设中首要考虑的是成本	排水引发社会问题引起工程界关注; 社会经济快步发展;隧道注浆堵水技术得以实践,堵水可以实现	排水的弊端引发环境问题被重视; 中国对生态环境保护日益重视;堵水技术日趋成熟

由表2可以看出:随着中国隧道建设技术的进步与社会经济的发展,隧道涌水处治从最开始的“注重成本,以排为主”逐步演变为“注重环保,以堵为主,限量排放”,并且在隧道设计规范乃至国家法律法规层面均提出了明确要求。现行《公路隧道设计规范》(JTG 3370.1—2018)^[9]第13.3.1条要求:当隧道施工过程中出现涌水时,宜遵循“以堵为主、排堵结合、注重环保”的设计原则。《中华人民共和国水法》(2016年7月

修订)第31条:“开采矿藏或者建设地下工程,因疏干排水导致地下水水位下降、水源枯竭或者地面塌陷,采矿单位或者建设单位应当采取补救措施;对他人生活和生产造成损失的,依法给予补偿。”

因此,隧道在勘察设计阶段,应根据涌水量大小、环境可能的影响程度决定隧道限量排放标准及堵水措施;在施工阶段,根据开挖揭露水量大小开展具体的堵水措施,并将施工过程中涌入隧道中的地

下水及时排出洞外。

3 公路隧道涌水的计量计价

3.1 勘察阶段涌水量估算

隧道地下水分布由隧址区气候环境、地形地貌、水文地质条件、隧道长度综合决定,整体分布有以下特点:

- (1) 地下水的埋藏和分布不均匀。
- (2) 基岩含水层形态多种多样。
- (3) 地质构造对基岩地下水的控制作用显著。
- (4) 基岩地下水的动力性质比较复杂。

由于地下水分布的以上特点,同一条公路上不同隧道涌水量常常会有较大差异,隧道涌水量的准确计算成为难题。当前,隧道涌水量的计算呈现多种理论、多种方法并存的状态,主要包含地下水动力学法、降水入渗法、地下径流模数法3种理论^[10],又可细分为8种计算公式。不同的计算方法包含的计算参数不一样,而参数取值本身存在一定的经验性,还受到现场测试准确性的影响,所以不同的计算方法、不同的勘察人员计算得到的涌水量大小均有差异。

公路隧道无涌水量指导规范,目前业内多依照《铁路工程水文地质勘察规程》(TB 10049—2014)^[11]开展涌水量估算。对于一般的山岭隧道而言,下穿山体属于有限体积,水源的补给主要是大气降雨渗流与周边地层渗流,现有的理论也是基于该情况开展计算。因此,除岩溶地貌等特殊的地质条件外,涌水量估算均有较强的指导作用,误差在可接受范围内。

3.2 设计阶段反坡排水量计算

隧道涌水计量计价主要指施工开挖过程开展的抽水工作产生的费用。若施工为上坡开挖段,掌子面面积水可通过重力作用流走,无须抽水;若隧道为反坡开挖(下坡),则隧道涌水会在掌子面汇聚,必须及

时采取抽水措施;斜井工区开挖的主洞,在隧道贯通前水均需通过斜井排出,均需抽水。反坡排水量计价分为设计、投标、施工3个不同的阶段,每一阶段考虑的计价依据、适用情况、单价均不一致。在勘察设计阶段,根据《公路工程预算定额》(JTG/T 3832—2018)^[12]中有关规定,设计单位应当考虑反坡排水量及其费用。

《公路工程预算定额》(JTG/T 3832—2018)第三章 隧道工程 第一节 洞身工程 第9条:洞内排水定额仅适用于反坡排水的情况,排水量按10 m³/h以内编制。超过此排水量时,抽水机台班按表3要求进行调整。

表3 公路隧道反坡排水定额调整系数

Table 3 Adjustment coefficient of reverse slope pumping quota of highway tunnel

涌水量/(m ³ ·h ⁻¹)	调整系数	涌水量/(m ³ ·h ⁻¹)	调整系数
10以内	1.00	100以内	2.00
15以内	1.20	150以内	2.18
20以内	1.35	200以内	2.30
50以内	1.70		

对于涉及斜井抽水计价段落详细划分定额条文中并无规定,经过与交通运输部定额编制单位(交通运输部路网监测与应急处置中心)沟通确认,涉及斜井的隧道反坡排水量估算包含4部分(图7):①通过斜井施工的主洞反坡段出水量;②通过斜井施工的主洞顺坡段出水量;③主洞反坡段开挖出水量;④斜井本身的出水量。其中,①计列抽到斜井交叉口、通过斜井抽到洞外共两次费用;②仅计列从与斜井交叉口抽到洞外一次费用;③仅计列通过主洞抽到洞外费用;④斜井本身的出水量计一次费用。斜井抽水路径长、扬程高,因此较主洞抽水单价更高。

隧道反坡排水量的估算是以隧道勘察涌水量为

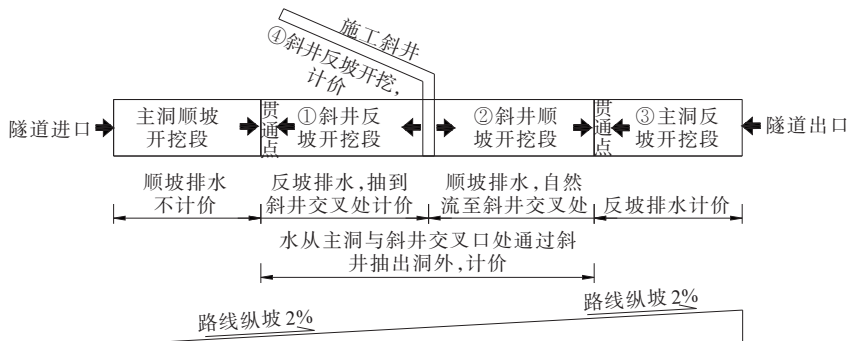


图7 隧道反坡排水计价段落分布图

Figure 7 Distribution of reverse slope pumping pricing section of tunnel

基础,并考虑反坡抽水段落的长度、施工开挖天数、段落涌水量综合计算所得,目前中国各公路设计院、铁路设计院并未形成统一的估算标准,对抽水量的管理也并不一致。例如,在云南省、广西壮族自治区等一些易出现较大涌水量的公路隧道,设计单位在做造价时暂估水量,实际发生后,进行现场四方确认,从预备费或措施费中支付。铁路上设计单位一般不提供反坡抽水量,仅在设计图中提出对排水设备排水能力的配置要求,最后以实际发生的数量从措施费中支付。

3.3 投标阶段的费用考虑

投标报价阶段,根据《公路工程标准施工招标文件》(2009版)^[13]503.11 计量与支付中1-(06)规定,隧道开挖过程,洞内采取的施工防排水措施,其工作量应包含在开挖土石方工程的报价之中。《公路工程标准施工招标文件》(2018版)^[14]第八章工程量清单计量规则503-1-a洞身开挖工作内容第4条:临时支护及临时防排水,显然,投标阶段,施工单位并不依据设计文件中估算的反坡抽水量开展计价,也不列入报价清单,而是将隧道涌水问题带来的费用增加综合考虑到开挖清单单价中。

3.4 施工阶段的抽水量确认

按照《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660—2020)^[15]要求,隧道反坡段的抽水工作是必不可少的,且最终的反坡抽水量应与设计值相对比,并根据最终确认量是否超出设计值作为不利物质条件是否产生的依据。施工中反坡抽水量的确认点位应当按照《公路工程预算定额》(JTG/T 3832—2018)中计价

区段进行布置,以便与设计值、计算值进行对比,作为履行变更或索赔的依据。抽水量可采用电磁水表(图8)或机械水表进行计量。



图8 某隧道口开展的电磁水表抽水量统计

Figure 8 Statistics of water extraction by electromagnetic water meter carried out at the entrance of a certain tunnel

当最大涌水量超出设计值之后,反坡抽水涉及的数量往往较大,在过去一些隧道项目中,开展计水量确认暴露出一些典型问题:

- (1) 抽水量计量仅在洞口与斜井口,未能与定额计价规则完全匹配。
- (2) 抽水水表未经过质检机构检测认证,在可靠性、准确性方面缺乏权威。
- (3) 无完整的过程影像,无法反映整个抽水过程。
- (4) 抽水过程不可溯源,难以验证。

隧道反坡抽水非实体工程,抽水确认存在难以核实的情况时,给项目计量支付、项目审计带来麻烦,涉及金额越大,以上问题越突出。根据现有的建设工程各项规范与制度要求,客观、严谨地做到反坡抽水量可溯源、有认证并不困难,通过分析以往项目中的经验及不足,提出了具体抽水量确认建议如表4所示。

表4 抽水量确认工作建议
Table 4 Suggestions for confirmation of water extraction

序号	项目	参与方及措施
1	开挖	施工单位、第三方监控量测单位、超前地质预报单位,进行掌子面出水量描述,留记描述单及影像资料
2	抽水设备	抽水设备进场时,施工单位应当留存设备抽水能力、合格证书等资料,监理单位验收
3	水表计量设备	水表具有出厂检验合格证书,并通过监理单位、质检机构的验收后使用,在同一出水管道上,采用2台水表,定期对比数据大小,减小误差
4	监控记录	采用专用监控设备在洞口记录抽水情况。并建议增加通讯模块,将视频实时上传云端,通过云端分配,将视频分别发送至各参建单位

3.5 施工阶段的抽水量计价

如前文所述,设计阶段应当将考虑隧道反坡抽水带来施工成本,施工单位投标时应当根据设计文件最大涌水量及反坡抽水量大小考虑施工成本的增加,前后已经形成完整对照关系。但隧道涌水量的

估算受到不确定的地质影响因素较多,目前行业内反坡抽水量的估算方法及做法并不统一,也不成熟。因此,施工中会有涌水量大于勘察涌水量的情况发生,此时实际发生的反坡抽水量也会大于设计反坡抽水量。

施工单位开展反坡抽水增加的费用是否开展计量计价,取决于施工合同中对不利物质条件的约定。根据《中华人民共和国简明标准施工招标文件》(2012版)中4.5不利物质条件第4.5.1条“不利物质条件,除专用合同条款另有约定外,是指承包人在施工场地遇到的不可预见的自然物质条件、非自然的物质障碍和污染物,包括地下和水文条件,但不包括气候条件。隧道属地下工程,当涌水量超出设计估算值,一般可认为是不利物质条件发生。若隧道施

工中反坡抽水量未超过设计涌水量,则应不予计价;若反坡抽水量远大于设计涌水量,施工单位投入了大量设备开展了反坡抽水,产生了投标报价之外的费用,原则上应当视为不利物质条件的发生,具体由建设单位根据合同专项约定情况决定计量的范围及单价,若无约定,施工单位可开展索赔计价。

通过以上系统分析,得到隧道涌水量、反坡抽水量问题在勘察阶段、投标阶段、施工阶段计量计价问题处理流程如表5、图9所示。

表5 公路隧道施工涌水计量与计价处理流程

Table 5 Water intrush measurement and pricing in highway tunnel construction

项目	勘察阶段	设计阶段	投标阶段	施工阶段
主要依据	《公路工程地质勘察规范》(JTGC20—2011)、《铁路工程水文地质勘察规程》(TB 10049—2014)	《公路隧道设计规范》(JTG 3370.1—2018)、《公路工程预算定额》(JTG/T 3832—2018)	《公路工程标准施工招标文件》(2009版)(2018版)、《中华人民共和国简明标准施工招标文件》(2012版)、项目招标文件	施工合同中专用条款关于不利物质条件的约定、《公路工程预算定额》(JTG/T 3832—2018)
考虑因素	气候条件、地形地貌、水文地质条件、隧道长度	纵坡分布、施工段落划分、分段开挖时长	涌水量与反坡抽水量大小对隧道开挖施工的综合影响、合同谈判、不利物质条件的风险分担、合同谈判	反坡抽水设备配置、反坡抽水量确认、抽水单价

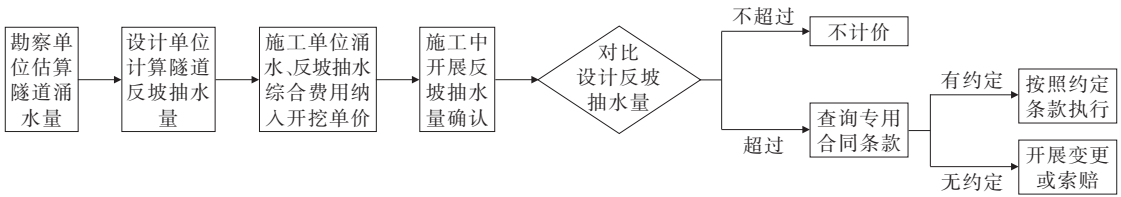


图9 公路隧道施工涌水计量与计价处理流程图

Figure 9 Water intrush measurement and pricing in highway tunnel construction

4 结论与建议

(1) 通过涌水问题的原理分析,以及规范等条文系统梳理,明确了隧道建设项目中不同参建单位的工作依据、职责划分及应当注意的问题,形成了贯穿整个建设周期的隧道涌水处理及计价流程。

(2) 设计单位在隧道涌水段贯彻“注重环保、以堵为主、限量排放”原则下,也应当考虑施工实施中的地下水反坡抽水量。反坡抽水量计算划分应按照规定编制办法规定进行,并考虑相关费用。

(3) 投标阶段,施工单位应根据涌水量大小,测算需增加的反坡抽水等措施费用,综合纳入开挖单价后进行投标报价。建议发包人与承包人应在合同专用条款中约定反坡抽水量超出设计值后如何处理,明确风险分担,避免后期争议。

(4) 施工阶段,监理单位应组织开展隧道反坡抽水量确认工作。抽水量确认点位应与概预算编制办法中要求的计价段落相一致,抽水过程应做到可溯源、有认证,避免出现数量无法核实的情况发生。

(5) 一般情况下,隧道内涌水量明显大于勘察设计值时可认为不利物质条件发生,隧道反坡抽水量超出设计值之外的部分,可考虑进行计价。

参考文献:

References:

[1] 崔永兴,邵长杰,郑束宁.复杂水文地质条件下隧道涌水量预测分析[J].中外公路,2020,40(增刊2):195-198.
CUI Yongxing, SHAO Changjie, ZHENG Shuning. Prediction and analysis of tunnel water inflow under complex hydrogeological conditions[J]. Journal of China

- & Foreign Highway,2020,40(sup 2):195-198.
- [2] 顾博渊,史宝童,黄嫚.山岭隧道涌水量预测方法分类及相关因素分析[J].隧道建设,2015,35(12):1258-1263.
GU Boyuan,SHI Baotong,HUANG Man.Classification of water inflow prediction methods for mountain-crossing tunnels and analysis on related factors[J]. Tunnel Construction,2015,35(12):1258-1263.
- [3] 于静涛,张飞雷,张贺,等.钢套筒协同端头土体加固辅助盾构进出洞技术应用研究[J/OL].中外公路,1-11[2024-01-26].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1363.U.20240126.1522.006.html>.
YU Jingtao,ZHANG Feilei,ZHANG He,et al.Application research on steel sleeve combined with working shaft end reinforcement auxiliary shield launching and receiving technology[J/OL].Journal of China & Foreign Highway,1-11[2024-01-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1363.U.20240126.1522.006.html>.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.工程岩体分级标准:GB/T 50218—2014[S].北京:中国计划出版社,2015.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for engineering classification of rock mass:GB/T 50218—2014[S].Beijing: China Planning Press,2015.
- [5] 王吉华.沈阳地铁矿山法隧道穿越滞水层关键技术研究[J].中外公路,2022,42(2):204-209.
WANG Jihua. Study on key technology of mine tunnel passing through stagnant water layer in Shenyang Metro[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(2):204-209.
- [6] 刘志春.裂隙岩体隧道与地下水环境相互作用机理及控制技术研究[D].北京:北京交通大学,2015.
LIU Zhichun.Study on interaction mechanism and control technology between fractured rock tunnel and groundwater environment[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2015.
- [7] 王秀英,王梦恕,张弥.山岭隧道堵水限排衬砌外水压力研究[J].岩土工程学报,2005,27(1):125-127.
WANG Xiuying,WANG Mengshu,ZHANG Mi.Research on regulating water pressure acting on mountain tunnels by blocking ground water and limiting discharge[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2005,27(1): 125-127.
- [8] 蒋树屏,丁浩,方林,等.富水隧道修建理念及关键技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
JIANG Shuping,DING Hao,FANG Lin,et al.Construction concept and key technology of rich water tunnel[M]. Beijing:China Communications Press Co.,Ltd.,2018.
- [9] 招商局重庆交通科研设计院有限公司.公路隧道设计规范:JTG 3370.1—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
China Merchants Chongqing Communications Technology Research & Design Institute Co.,Ltd.. Code for design of highway tunnel: JTG 3370.1—2018[S]. Beijing:China Communications Press Co.,Ltd.,2018.
- [10] 丁燕平,徐林生.深埋山岭富水公路隧道衬砌结构设计模拟分析[J].中外公路,2020,40(3):214-219.
DING Yanping,XU Linsheng.Analysis of lining structure design and modeling of highway tunnel in water-enriched mountains area[J].Journal of China and Foreign Highway, 2020,40(3):214-219.
- [11] 中华人民共和国铁道部.铁路工程水文地质勘测规程:TB 10049—2014[S].北京:中国铁道出版社,2004.
Ministry of Railways of the People's Republic of China. Code for hydrogeological investigation of railway engineering: TB 10049—2014[S]. Beijing: China Railway Publishing House,2004.
- [12] 交通运输部路网监测与应急处理中心.公路工程预算定额:JTG/T 3832—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
Highway Monitoring & Response Center, Ministry of Transport of the PRC.Highway engineering budget quota: JTG/T 3832—2018[S]. Beijing: China Communications Press,2018.
- [13] 中华人民共和国交通运输部.公路工程标准施工招标文件(2009版)[S].北京:人民交通出版社,2009.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Bidding document for standard construction of highway engineering (2009 Version) [S]. Beijing: China Communications Press,2009.
- [14] 中华人民共和国交通运输部.公路工程标准施工招标文件(2018版)[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Bidding document for standard construction of highway engineering (2018 Version) [S]. Beijing: China Communications Press,2017.
- [15] 中交一公局集团有限公司.公路隧道施工技术规范:JTG/T 3660—2020[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.
China First Highway Engineering Co., Ltd.. Technical specifications for construction of highway tunnel: JTG/T 3660—2020[S].Beijing:China Communications Press Co., Ltd.,2020.