

质量管理

高速铁路建设工程质量风险管理 “一图四表法”

王 峰 上海铁路局

摘 要: 本文运用风险管理基本原理,贯穿高速铁路建设工程质量风险识别、分析、评估、应对、监控、后评价等关键环节,通过对风险管理方法、手段的系统整合和综合运用,探索形成“一图四表法”,从而将质量风险管理原理和方法转化为易于操作的形式和具体措施,强化了参建各方对工程质量状态的总体把握,实现了高速铁路建设工程质量风险的系统化管理。

关键词: 高速铁路 质量 风险管理 方法

随着我国高速铁路的建设发展,大量新技术、新标准的运用给质量管理理念和方法带来新的要求和挑战。高速铁路项目具有投资规模大、建设周期长、施工技术复杂、参建单位多等特点,在建设过程中受到诸多不确定风险的影响,如果不加以有效防范,将直接影响建设目标的顺利实现,甚至酿成严重后果。鉴于高速铁路工程建设质量的极端重要性,迫切需要广大建设者运用风险管理的理论、方法,不断丰富和完善铁路工程质量管理体系。上海铁路局近年来承担了合宁、合武(安徽段)、沪宁、沪杭、宁安、宁杭、金丽温铁路等多条高速铁路,以及上海虹桥、南京南、杭州东站等特大型铁路枢纽客站的建设任务,上海铁路局始终坚持“质量第一、崇尚科学”的理念,在建设过程中逐步研究和探索质量风险管理的基本原理,形成了以“一图四表法”为核心的质量风险管理体系,并成功应用于宁安铁路、杭州东站等铁路建设项目,取得了较好成效。

质量风险管理的“一图四表法”是指通过应用质量风险管理的理论方法,整合风险识别、分析、评估、应对、监控、后评价等主要环节,采用质量风险公示图、质量风险识别分析登记表、质量风险应对计划责任展开表、质量风险动态过程监控表和质量风险处置结果评定表,将质量风险管理方法显性化,形成风险管理体系,达到综合提高、系统优化的效果。以下结合上海铁路局高速铁路工程实例,重点阐述质量风险管理“一图四表法”的构建过程和具体运用。

1 质量风险公示图的形成

1.1 质量风险公示的意义

在全线平面图上分级载明路基、桥涵、隧道、站房、“四电”等质量风险关键点,并动态公示,使项目质量风险关键和状态显性化,质量主次风险一目了然,可以使各级管理人员保持居安思危,起到警示作用。实施质量风险公示,有益于统一全员的思想认识,有益于全盘掌握项目总体状态,有益于明了工作主次,有益于实施分级把控,最大限度应对风险,化解危害。

1.2 质量风险点的判别方法

(1) 现场勘察法:以设计图纸为基础,建设、设计、监理、施工等各相关单位人员到现场进行实地勘察,集思广益,确定质量风险点。工作重点为找出受现场地理、地质、人文等环境影响的质

量风险点，如水塘地段路基工点，涉河涉路的重要桥梁工点等。

(2) 专家调查法：结合现场勘察调查结果，召开专家会议，确认质量风险工点。工作重点为确认现场勘察结果是否合理，并根据专家意见对结果进行修正和补充。

(3) 常识经验判断法：在工程建设过程中，根据实际情况变化，利用常识经验，找出新的应列入风险点的工点，对已有风险点进行补充。工作重点为对全线风险点进行动态管理，及时补充，避免管理漏洞。

1.3 质量风险公示图的形成流程

按照图 1.1 所示的质量风险点的判别流程，在系统梳理设计文件、地勘资料、施工图、法律、法规、管理制度、规章、风险历史资料等方面的因素的基础上，运用现场勘察法、专家调查法、常识经验判断法等方法，分类梳理路基、桥涵、隧道、站房、“四电”及其他专业工程质量风险点。

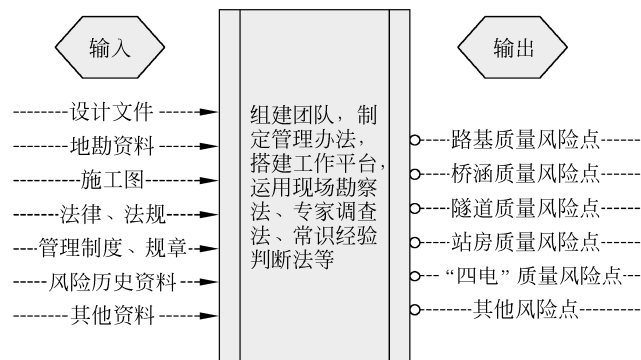


图 1.1 质量风险点判别流程

以宁安铁路为例，运用现场勘察法、专家调查法和常识经验判断法分类梳理出全线质量风险点，按路基、桥涵、隧道、站房及“四电”进行分类编号、建档，绘制形成质量风险公示图（图 1.2），有利于将质量风险目标和管理责任层层分解，为实施铁路工程建设全员、全项目、全过程的质量风险控制提供基础。

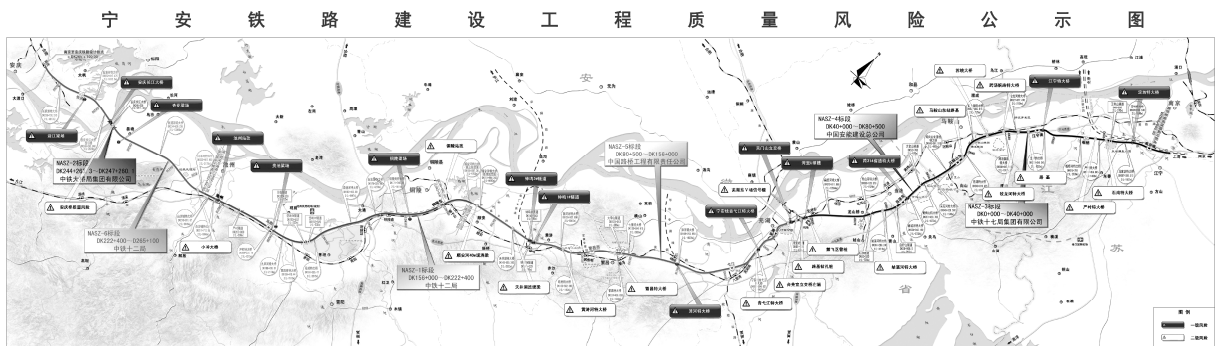


图 1.2 质量风险公示图（详图见本书后附插页）

2 质量风险识别分析登记表的构建

按照风险管理的理论和方法，对质量风险事件和因素进行识别分析，对其产生的可能性、危害性进行判别，对风险等级进行评估，编号后汇总成清晰、明了、直观的登记表，为参建单位开展风险控制各项后续工作奠定基础。本文以宁安铁路钟鸣Ⅱ号隧道工程为例，详细阐述质量风险识别分析登记表的构建和应用过程。

2.1 风险识别

实行铁路工程质量风险管理，风险识别是开端，在收集相关资料的基础上，运用特定的方法，系统识别影响工程目标实现的各类风险，加以适当的判断、归类及鉴定，识别出可能对工程目标有影响的因素、风险性质、风险发生的条件，初步识别风险发生可能引起的后果。运用墨菲定律、德尔菲法、头脑风暴法、经验分析法、因素分析法核对表法、情景分析法等方法对质量风险进行识别，识别流程如图 2.1 所示。

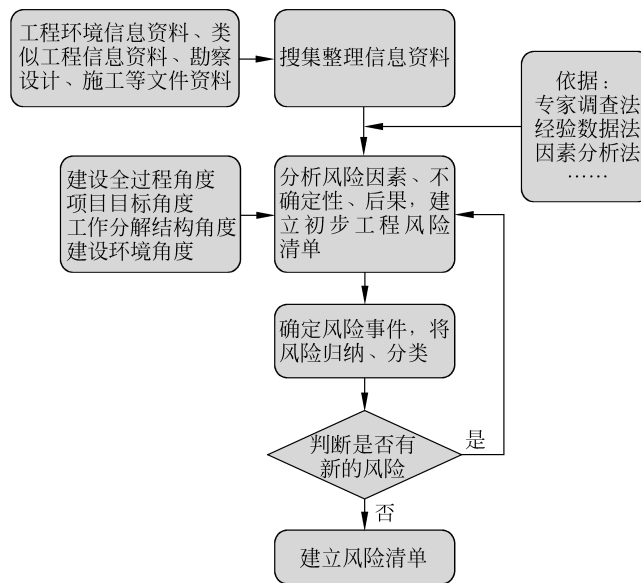


图 2.1 风险识别流程图

宁安铁路钟鸣 II 号隧道工程开工之初，首先采用德尔菲法，以专家评审会的方式，对质量风险事件和因素进行识别，通过与选定的专家进行反复轮次的函询、调查，对专家的意见进行收集、汇总、整理，直到专家学者的意见渐趋一致，作为最后识别依据。在此基础上采用因素分析法，分析判定在构成风险的各种要素中的主次因素，建立了项目质量风险因素清单。因素分析法是风险因素识别的重要工具。其功能是分析判定在构成风险的各种要素中，何种因素对项目的影响最大，其分析流程如图 2.2 所示。

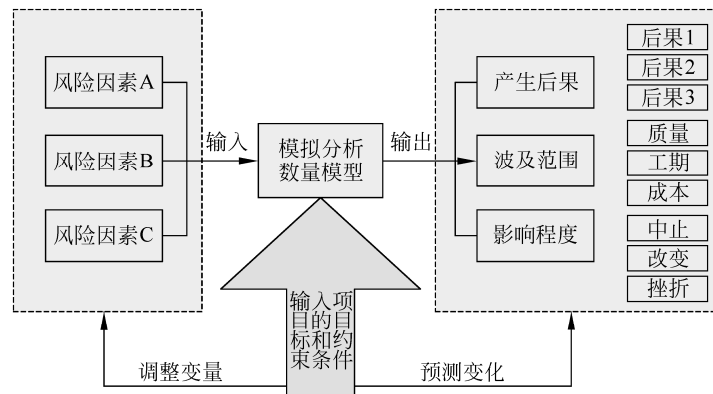


图 2.2 因素分析识别因素流程图

2.2 风险分析

首先，采用专家调查法对识别出的质量风险因素展开讨论，借鉴以往施工中出现的质量问题调

查结果, 对各风险事件的可能原因进行查找分析并予以登记。然后, 在专家调查法的基础上, 运用疑因假设法对风险事件原因进行进一步分析, 确定风险的可能性、危害性和可检测性, 为质量风险评估、应对、监控提供依据。运用疑因假设进行分析的步骤如图 2.3 所示。



图 2.3 疑因假设法分析步骤

钟鸣 II 号隧道出口初期支护施工完成后, 经后期变形观测发现 DK141+490~530 段拱顶及进洞方向右侧边墙沉降和收敛最终值较大, 超出原预留的沉降变形值。该隧道原预留沉降变形值 40cm, 并已开挖暗洞约 45m, 此前的施工段落未出现此情况。为找出质量风险源, 我们采用疑因假设法对此事件进行了分析, 从人、材料与设备、技术、组织与协调、自然环境等 5 个方面因素观察分析, 对比征兆进行判断, 验证初始假设, 层层分析鉴别, 锁定风险确切原因地质情况出现偏差, 支护参数无法满足要求。分析结果如表 2.1 所示。

表 2.1 钟鸣 II 号隧道初支拱顶及右侧边墙沉降和收敛最终值超限分析表

现象	风险因素	可能原因	原因筛选方法	是否主要原因	结论	
隧道初支拱顶及右侧边墙沉降和收敛最终值超限	人的因素	操作工人未按验标及设计要求施工初期支护	现场跟踪施工过程, 查阅施工资料。重点检查钢架架设时底部支撑是否到位、锁角锚管及系统锚杆是否按要求施作、喷射混凝土是否密实、台阶间钢架连接是否牢固	否	次要影响	
	材料与设备因素	混凝土质量不满足设计要求	从原材料进场检验开始, 直到现场喷射混凝土, 全过程检查是否符合标准	否	次要影响	
	技术因素	①技术交底出现错误, 未交到作业班组, 现场工人未能熟练掌握技术要求。②量测方法不正确, 量测数据不可信, 未如实反映现场实际。	①检查技术交底资料, 现场询问操作人员控制重点。②检验测量仪器和测量方法是否可靠, 测量结果与现场变形情况进行比对	收敛测量采用绝对坐标法, 系统误差较大, 应加入相对坐标法进行补充。但通过现场比对, 基本符合实际情况		影响可能较小, 但应改进
	组织与协调因素	①仰拱未及时施作。②开挖循环时间过长, 造成围岩暴露时间过长	①查阅施工记录, 现场测量仰拱距离。②查阅施工记录, 跟踪作业循环时间	否	次要影响	
	自然环境因素	地质情况出现偏差, 支护参数无法满足要求。	查阅地质素描资料, 与设计图纸进行比对。现场勘察围岩情况, 对围岩性质进行判定	隧道右侧岩层产状为斜状, 从进洞方向开始, 自隧道仰拱向二台阶发育。该斜层向隧道内倾斜, 两斜层间夹全风化层, 且两斜层均为粉质黏土, 虽为硬塑状态, 但极易破碎		主要影响

2.3 风险评估

风险评估的方法有风险优先指数法 (RPN 法)、矩阵法、头脑风暴法、专家打分法等。我们主要运用了风险优先指数法, 其实施步骤为: 建立级量化表 (表 2.2) → 对可能性 (P)、危害性 (S)、可检测性 (D) 三个指标进行估值 → 计算风险系数 ($RPN = P \times S \times D$) → 划分风险等级。风险优先指数法质量风险等级一般分为 A、B、C、D 四级, 划分标准为: $RPN = 31 \sim 125$ 为 A 级风险; $RPN = 16 \sim 30$ 为 B 级风险; $RPN = 6 \sim 15$ 为 C 级风险; $RPN = 1 \sim 5$ 为 D 级风险。

表 2.2 级量化量表

可能性 (P)	危害性 (S)	可检测性 (D)	分值
几乎可以确定	可终止项目	绝对不可能	5
几率高	极其严重	可能性很小	4
中等	中等	中等	3
低	轻微	高	2
不可能发生	没有不良后果	几乎可以确定	1

常用的方法还有矩阵法，矩阵法与 RPN 法相比较，在风险等级划分过程中仅考虑可能性和危害性两个因素，分析过程相对容易，适用于相对简单的项目。矩阵法风险等级划分标准见表 2.3。

表 2.3 风险等级划分表

可能性 \ 危害性	危害性				
	可中止项目	极其严重	中等	轻微	没有不良后果
几乎可以确定	A	A	A	B	B
几率高	A	A	B	B	C
中等	A	B	B	C	C
低	B	B	C	C	D
不可能发生	B	C	C	D	D

通过上述风险识别、分析和评估过程，构建形成质量风险识别分析登记表（表 2.4）。

表 2.4 钟鸣 II 号隧道质量风险识别分析登记表

风险编号	风险事件	因素	可能性	危害性	等级划分
NATL-SD-ZM2-1	隧道平面位置、高程控制出现偏差，出现中线位置、曲线线型、仰拱及拱顶高程、洞门位置等方面的错误	人的因素、材料与设备	极小	灾难性的	B
NATL-SD-ZM2-2	开挖超欠挖现象	人的因素、材料与设备、技术因素	很可能	危险的	A
NATL-SD-ZM2-3	拱架安装位置偏差、拱脚下沉、掉拱	技术因素、人的因素、组织与协调	偶然的	严重的	B
NATL-SD-ZM2-4	系统锚杆数量、长度不足，锚垫板缺失，锚杆打设方向错误，未按要求进行注浆	组织与协调、人的因素、技术因素、材料与设备、自然与环境	很可能	次要的	B
NATL-SD-ZM2-5	钢筋网网格尺寸加大、钢筋以小代大、钢筋网搭接少	组织与协调、人的因素	经常	次要的	B
NATL-SD-ZM2-6	喷射混凝土工艺不符合设计要求、表面不平顺、喷射不密实、背后空洞	组织与协调、人的因素、材料与设备	经常	危险的	A
NATL-SD-ZM2-7	初支沉降变形过大	自然与环境、人的因素、组织与协调、技术因素	偶然的	危险的	B
NATL-SD-ZM2-8	仰拱和仰拱填充一次施作、仰拱开挖深度不足、仰拱填充混凝土加填片石	组织与协调、人的因素	偶然的	灾难性的	A
NATL-SD-ZM2-9	衬砌厚度不足、错台严重、钢筋加工及安装偏差加大、拱顶空洞	技术因素、人的因素、材料与设备	偶然的	严重的	B

续表

风险编号	风险事件	因素	可能性	危害性	等级划分
NATL-SD-ZM2-10	止水带安装偏差过大,止水带搭接长度不足、连接方式错误,排水盲管间距超标、排水不畅,防水板破损等原因造成洞内滴渗水。	人的因素、技术因素、材料与设备、组织与协调	很可能	严重的	A
NATL-SD-ZM2-11	安全事故影响	组织与协调、自然与环境	极小	严重的	C
NATL-SD-ZM2-12	资金到位影响	自然与环境	极小	可忽略的	D
NATL-SD-ZM2-13	地方配合影响	自然与环境	偶然的	可忽略的	C

3 质量风险应对计划责任展开表的构建

铁路工程质量风险应对是指通过对工程项目风险的识别、评估,制订工程质量主要风险因素的应对策略和采取应对措施的过程。

3.1 质量风险的应对措施

结合铁路工程质量风险特点,采取的应对措施包括:风险规避、风险转移、风险减轻以及这些策略的组合。对于 A、B 级质量风险应采取风险规避或转移的应对措施;对于 C、D 级质量风险可采取风险减轻的应对措施。

3.2 应对机制

风险应对机制在风险降临时才发挥作用,但是应该在事先就做好准备,通过建立健全责任体系,强化应对信息处理、资源储备,工程质量的分级管理等构建应对机制。

(1) 建设单位是铁路建设工程项目质量风险管理的核心,应成立由项目管理机构、设计、施工、监理等单位共同参与的工程质量风险管理工作领导机构,以保证机构高度的权威性,果断决策,机动授权,迅速调动资源,全面协调各部门的协作关系,高效处理风险应对过程中遇到的各种问题。

(2) 信息处理包括信息搜集、分析、反馈、发布系统。如果一个项目出现了质量事件,指挥中心接收到涉及铁路工程实体质量等问题的反映,应在第一时间记录或整理所举报的有关内容,在较短的时间之内找到所有相关的技术资料,并联络相关管理和技术人员,按照事先制定的风险应对方案进行处理。

(3) 资源储备是风险应对的物质保障,风险资源首先应来自计划储备,如风险准备金,储备时间,备用物资,后备技术等,如果储备不够,则需要有迅速调集资源的方法和渠道。

(4) 风险应对实行分级管理。A、B 类风险由项目管理机构负责人负责落实;C 类质量风险由中层干部负责落实;D 类质量风险由专业工程师负责落实。

质量风险应对计划责任展开表的构建基本思路是:针对质量风险识别分析登记表所列风险事件和风险因素,研究制定逐一对应的预防控制措施,并根据风险等级,落实责任部门和责任人。针对风险分析中找出的可能原因,逐条分析,制定相应的应对措施,在此基础上,根据质量风险等级,采取分级管理。以宁安铁路钟鸣 II 号隧道为例,最终构建的号隧道质量风险应对计划责任展开表如表 3.1 所示。

表 3.1 钟鸣 II 号隧道质量风险应对计划责任展开表

编号	风险事件	风险等级	主要预防控制措施	责任人	责任部门
NATL-SD-ZM2-1	隧道平面位置、高程控制出现偏差，出现中线位置、曲线线型、仰拱及拱顶高程、洞门位置等方面的错误	B	①设置专门的测量工作负责人，负责测量工作开展和培训等工作；②坚持定期复核测量基准点和导线点。③测量中坚持数据复核和换手测量制度。④对隧道内设计曲线的变化处及特殊结构处（如硐室、变形缝等）建立台账或图表，及时掌握施工实际进度，及时检测复核	分管领导	工程部 物设部
NATL-SD-ZM2-2	开挖超欠挖现象	A	①测量方面的措施同上。②隧道开挖后及时支护，减少围岩暴露时间，对围岩临空面采取喷射混凝土及时防护。③掌子面处可视具体情况适当预留核心土。④做好技术交底和对操作人员的培训。⑤选用合理机械设备，尤其是开挖设备。⑥进行超前地质预报	主要领导	安质部 工程部 物设部
NATL-SD-ZM2-3	拱架安装位置偏差、拱脚下沉、掉拱	B	①测量方面的措施同上。②严格按照设计要求施工锁角锚管或锚杆，地质差的地段可适当加强。③严格按照工法要求施工，左右台阶错开距离应满足要求，不得同时开挖	分管领导	安质部 工程部
NATL-SD-ZM2-4	系统锚杆数量、长度不足，锚垫板缺失，锚杆打设方向错误，未按要求进行注浆。	B	①严格执行架子队管理模式。②加强现场监控。③做好技术交底和配需。④选用合理机具设备。⑤与设计方做好沟通，改进施工工艺	分管领导	安质部 工程部 物设部
NATL-SD-ZM2-5	钢筋网网格尺寸加大、钢筋以小代大、钢筋网搭接少	B	①严格执行架子队管理模式。②加强现场监控。	分管领导	安质部 工程部 物设部 计合部
NATL-SD-ZM2-6	喷射混凝土工艺不符合设计要求、表面不平整、喷射不密实、背后空洞	A	①严格采用湿喷工艺。②加强技术交底和培训工。③加强现场监控	主要领导	安质部 工程部 物设部
.....					

4 质量风险动态过程监控表的构建

工程建设过程中，风险因素是不确定的，新老风险的交替是无处不在、无时不有的；已确定的风险因素消失后，通过监测的手段发现新的风险，给风险控制提供应对策略的时机。

4.1 风险监控的内容

(1) 密切跟踪已识别的风险。通过跟踪、监测，填写风险跟踪检查表，汇总分析，及时了解已识别风险的实际情况，并监测风险应对计划中的每一项措施是否予以实施并取得实效。

(2) 监控新风险的发展。工程实施过程中，风险会不断变化，可能会有二次再生风险的出现，或其他风险的出现，进而考虑是否需要改变风险应对计划。

(3) 细化风险应对措施。进行风险监控时，应尽可能全面、广泛收集工程信息，便于调整风险应对计划，使其更加具体、切合实际。

(4) 制定风险损失控制措施。进行风险监控时，应尽可能全面、广泛收集工程信息，便于调整风险应对计划，使其更加具体、切合实际。

4.2 风险监控流程

风险监控和控制是相辅相成的，是交替进行的，必须结合起来考虑。铁路工程质量风险监控是指随时监测并记录工程项目的各种风险状态，并与风险管理目标相比较，如发现偏差，则及时采取控制措施的措施，主要包括对工程风险的监视和控制两大环节，其流程如图 4.1 和图 4.2 所示。

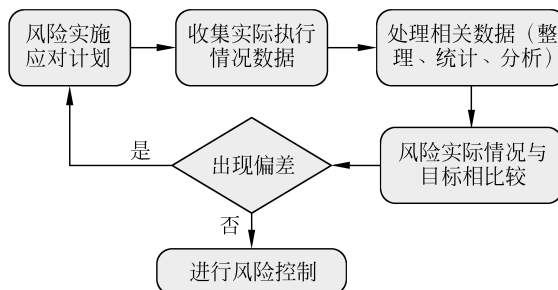


图 4.1 风险监控流程

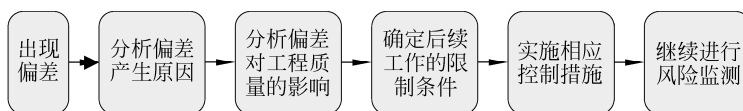


图 4.2 风险控制流程

构建监控表的总体思路是：根据风险应对计划责任展开表，开展工程风险应对与监控，落实预定的各项预防控制措施，实施风险的回避、转移、降低和自留。构建方法为：设置风险预警系统，运用审核检查法、风险表检查法、风险直方图等，密切跟踪已识别的风险，监控新风险的发展，细化风险应对措施，制定风险损失控制措施，实现风险管理的动态监控和 PDCA 循环。以宁安铁路钟鸣Ⅱ号隧道为例，可以构建出如表 4.1 所示的风险动态过程监控表。

表 4.1 钟鸣Ⅱ号隧道质量风险动态过程监控表

编号	风险事件	已采取的措施	责任人	部门	残余风险	处置措施
.....						
NATL-SD-ZM2-6	喷射混凝土工艺不符合设计要求、表面不平顺、喷射不密实、背后空洞	①严格采用湿喷工艺。②加强技术交底和培训工作。③加强现场监控	主要领导	安质部 工程部 物设部	个别空洞可能仍然存在	采用雷达扫描等手段进行检测
NATL-SD-ZM2-7	初支沉降变形过大	①采用超前地质预报和地质素描等手段及时掌握围岩信息，及时与设计方沟通。②加强初支质量监控。③严格执行红线管理，及时施作仰拱。④与相关单位密切配合，加强环境预报和监测。⑤根据设计文件和类似工程确定合理预留沉降量，宜采用就高不就低的原则	分管领导	工程部 安质部	个别地段初支沉降变形仍然过大	①施工引起变形的原因应调查清楚，如是地质原因，应增强初支支护参数。如不予加强，可能造成复合衬砌无法满足受力要求。②过程中加强观察，必要时采用观测和检测手段
NATL-SD-ZM2-8	仰拱和仰拱填充一次施作、仰拱开挖深度不足、仰拱填充混凝土加填片石	①严格按照设计文件和相应标准组织施工。②加强现场监督。③严格执行架子队管理模式	主管领导	安质部 工程部 计财部	无	
.....						