

岩溶

陈国亮

Chen GuoLiang

编著
Compile

地面塌陷的

KARST COLLAPSE OF GROUND SOIL
GENESIS, PREVENTION AND
REMEDICATION
(EXTRACT)

成因与 防治

中国铁道出版社

岩 溶 地 面 塌 陷 的 成 因 与 防 治

陈国亮 编著

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 9 4 年 · 北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书反映了岩溶地面塌陷这一地质灾害的国内外最新研究成果及实践经验。全书为中英文合订本,共分七章。主要内容包括:岩溶地面塌陷的危害、勘察与试验、地质环境、成因机制、预测预防、治理技术,以及国外岩溶地面塌陷的研究与技术状况。

本书可供从事岩溶工程地质工作者参考。

岩溶地面塌陷的 成因与防治

陈国亮 编著

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 张苍松 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092 毫米 1/32 印张:9.5 字数:216 千

1994 年 6 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—2000 册

ISBN7-113-01651-0/TU·356 定价:12.20 元

前 言

岩溶地面塌陷是一种地质灾害。它是覆盖型岩溶地区开口岩溶形态与上覆土层(少许为松软岩层)中的水、气对盖层发生的力学效应在地面形成的坍落现象。它既不同于抽取地下水和疏干地层中孔隙、裂隙水导致的大面积地面沉降,也不同于矿山采空引起的地面坍塌下沉,更不是岩溶洞穴顶板坍塌。

岩溶地面塌陷在我国是近 30 余年来发现并引起重视的一个新的岩溶工程地质问题。随着我国工农业生产与人民生活需水量的增加,抽取地下水与坑道排水与日俱增,人为活动强度加大,各地区的岩溶塌陷也应运而生,且发展迅速,危害日益严重,发展势头不可逆转。我国已有 23 个省市发生岩溶塌陷,交通运输,矿山开采、城市建设、农田水利以及人民生活等都受到岩溶塌陷的危害。据铁道部门的调查统计,在 1983 年全路岩溶塌陷才不到 20 处,到 1992 年,已发展到近 500 处。其中最严重的近 60 处,已经造成 3 次列车颠覆,中断行车累计 2000 多小时以上。黄石地区大广山支线已断道 12 年之久至今未恢复。造成的直接经济损失,一个工点少者几十万元,多者达 3000 万元以上,间接经济损失则无法估算。

全国尚有 38 座水库,37 个矿山,20 多个城市亦遭受岩溶塌陷的危害。

国外发生的岩溶塌陷也较为普遍,对这一问题的关注约早于我国 20~30 年。岩溶塌陷以美国最多,南非受害最大,原苏联关注最早。国际已有 5 次专题研究交流会。本书对此也作了详细介绍。

国内共有规模不等的岩溶塌陷专题交流会 12 次。岩溶地面塌陷发展快,涉及面广,危害性大,因此关注这一地质灾害的有地质、地理、岩土工程工作者以及政府部门的农水系统、环境保护及国土保持等多方面的专家和官员。关注的重点是如何预防与治理。要做到防治技术上可能,经济上合理,就必须追根究源。研究岩溶塌陷的性质、成因机制等,理论上涉及到许多学科。如地质、土质、水文、生态、环境、大气、力学及人为活动等。因此,美国于 1984 年、1987 年、1989 年三次召开的国际讨论会,都称为“岩溶塌陷多学科学术讨论会”。

经过几十年的探索,国外对塌陷成因的认识,主要是地下水位骤降,其次是振动与外荷载作用,机制是管涌作用(即地质学的潜蚀)。国内则认为,成因主要是地下水位变动,次为振动与外荷载等,机制是真空吸蚀与潜蚀。但是国内外的成因机制论述,建立在理论分析及少量的简单试验基础上,缺乏足够的论据,其结论尚缺乏说服力。铁道部门为解决岩溶塌陷对行车安全的威胁,责成铁道部第二勘测设计院进行专题研究。经过 1978 年~1985 年的调查访问准备,1986~1990 年结合生产进行了国内外尚无先例的土工模型试验及现场多项试验。发现了压强差致塌机制,深化了对岩溶地面塌陷的认识。这些成就概括为:岩溶地面塌陷形成的基本条件与影响因素;成因与机制;勘探与试验方法;定性、半定量与定量的预测、预防方法以及概括了国内外已付诸实践的多种治理岩溶塌陷的措施。

本书还对国内外的研究与实践情况作了详细的论述与对比,是一本反映了国内外研究与实践的最新成就和最新水平、内容新颖、实践性强的技术书籍。

向对本书曾作出重要贡献的陈裕昌、李乃非、谭鸿增、张江华等同事表示深切的衷心谢意。对铁二院岩溶研究组的其

他同事的辛勤劳动也表示真诚的谢忱。

本书还得到国内许多同行和我院领导的关注与支持,美国中佛洛里达州大学岩溶塌陷研究所所长 B. Beck 博士赠给我两部岩溶塌陷的论文集,在此一并表示感谢。

为对外进行学术交流,将本书的主要内容译成英文合订于中文之后。英文译校由黄炳文、王锡根先生担任,对他们的合作与支持,以及卓有成效的劳动,更是感激不已。

陈国亮

1993 年 8 月于昆明

目 录

第一章 岩溶地面塌陷的危害	1
第一节 岩溶地面塌陷的概念.....	1
第二节 我国岩溶地面塌陷的分布.....	4
第三节 岩溶地面塌陷的危害及事例	18
第二章 勘察与试验	33
第一节 勘察工作	33
第二节 模型试验的方法与效果	42
第三节 现场试验的方法与效果	53
第三章 岩溶地面塌陷的地质环境	61
第一节 基本地质环境	61
第二节 影响岩溶塌陷的环境因素	62
第四章 岩溶地面塌陷的成因与机制	76
第一节 岩溶塌陷的成因	76
第二节 岩溶塌陷的受力分析	83
第三节 岩溶地面塌陷的机制	85
第五章 岩溶地面塌陷的预测预防	95
第一节 预 测	95
第二节 预 防.....	105
第三节 监测预报.....	106
第六章 岩溶地面塌陷的治理技术	110
第一节 地表封闭防渗.....	110
第二节 地面下加固措施.....	112
第三节 结构物跨越.....	126

第四节	综合治理·····	129
第七章	国外岩溶地面塌陷的研究与技术状况·····	137
第一节	概 述·····	137
第二节	理论研究·····	142
第三节	实践与水平·····	148
第四节	国内外岩溶地面塌陷的研究对比·····	154
参考文献·资料	·····	158

第一章 岩溶地面塌陷的危害

第一节 岩溶地面塌陷的概念

一、概 述

岩溶地面塌陷是近代出现的岩溶地质学的分支学科,是一种地质灾害。它的出现,除古岩溶塌陷受控于自然因素外,多数塌陷都受人类工程活动的影响。人为因素导致的塌陷规模大,发展快,危害性强。因此引起广泛的关注。

岩溶塌陷研究涉及到多类学科,诸如岩溶学、水文地质学、水力学、土质学、岩石力学、地质环境及人文学等。岩溶塌陷的时间跨度很长,古则至任何地质时期,新则至今日的每时每刻。空间甚广,地球上碳酸盐岩、硫酸盐岩分布的地区,都有可能发生岩溶塌陷。

我国碳酸盐岩分布甚广,达 $340 \times 10^4 \text{km}^2$,被第四纪松散堆积及少数屑碎岩覆盖的面积占碳酸盐岩出露面积的 70%。自 50 年代以来,由于人类工程活动的迅速发展,岩溶塌陷也应运而生。且发生的频率与强度也愈来愈大,危害性也随之增大。我国岩溶塌陷已遍及 23 个省市自治区,塌陷达 800 处(含段、站、区)以上,塌陷坑超过 3 万个,其塌陷数量之多,损失之大可居世界之首。

在我国,塌陷的土层厚度最大为黔桂线侧岭站附近,其厚度大于 101m。塌陷直径最大者,人为因素致塌的为广西玉林分界圩,长 160m,宽 40m,深 72m;自然因素致塌的四川兴文县长 690m,宽 490m,深 208m。塌陷坑数最多为湖南恩口煤矿 6100 多个。治理费最多为泰安火车站,达 3000 万元以上。

我国最早描述岩溶塌陷地貌现象的是明代地理学家徐霞

客,始于 1637 年。但是岩溶塌陷作为地质问题来论述,见于 1973 年,广东省地质局编写的《隐伏岩溶类型矿区水文地质特征及勘探方法》,尔后相继召开了学术讨论会,铁路部门曾为泰安站、分宜站、南京岔路口、南岭隧道(3 次)、大瑶山隧道等的岩溶塌陷问题举行了 7 次研讨会,1988 年召开地质路基年会,又着重研讨了岩溶塌陷问题。全国性重点研讨岩溶塌陷的会议不少于四次。自 1973 年以来,共发表岩溶地面塌陷论文 135 篇(含会上交流未发表的 42 篇)。徐卫国曾在坑道顶部将钻孔堵水后放水,由地面观测放水与塌陷关系,又在室内作了单根玻璃管中渗漏水致塌的试验后,提出了真空吸蚀的观点。1978 年铁道部第二勘测设计院、1983 年地矿部桂林岩溶研究所相继将岩溶地面塌陷列为正式研究课题。前者侧重于应用实践,后者侧重基本理论的研究。铁二院经过模拟试验和现场多项试验后,提出了压强差致塌的观点,深化了对岩溶地面塌陷的理论认识。1991 年云南地矿局将云南省重点城市的岩溶塌陷列为研究课题。因此,我国对岩溶地面塌陷的研究,正在向纵深发展,方兴未艾。

二、名词与定义

什么是岩溶地面塌陷,在我国虽说法不一,但其基本含义相近。如国家标准中解释为“在岩溶地区,由于下部洞穴扩大而导致顶板岩体塌陷,或上覆土层中的土洞顶板因自然或人为因素失去平衡产生下沉或塌陷的通称”。这个定义实际上含两部分内容,前者指基岩洞穴顶板的坍塌,后者指土洞顶板的塌落。又如项式均等人提出“岩溶塌陷机制是指由隐伏岩溶洞隙的岩土体覆盖层及赋存其中的水、气所组成的综合体系,由于所作用的外动力因素的变化而产生的各种破坏其稳定平衡状态的力学效应”。这一定义是针对塌陷机制而言。再如康彦

仁等提出“岩溶洞隙上方的岩、土体在自然或人为因素作用下引起变形破坏,并在地面形成塌陷坑(洞)的一种岩溶动力地质作用与现象”。这一提法又缺机制的内容。铁道部颁《铁路工程地质岩溶勘测规则》中提出“开口岩溶洞隙与上覆土层(少数为松软岩层)中的水、气对盖层发生的力学效应,导致的地面塌落”。这个定义包含了发生岩溶地面塌陷的基本条件、形成机制、作用与效果。且文字精练。显然岩溶地面塌陷是一个完整的名词,本书内所用塌陷、岩溶塌陷或地面塌陷等词均与岩溶地面塌陷是同义词,但与习惯上称岩溶洞穴顶板坍塌为岩溶塌陷,或采空等因素引起的地面下沉塌落为地面塌陷等词的含义不同。

根据以上定义,不难看出岩溶地面塌陷既不同于抽取地下水,疏干地层中孔隙水引起的大规模地面沉降,也不同于矿山采空引起的地面坍塌,更不是基岩中岩溶洞穴顶板的坍塌。

三、塌陷分类

正确的分类能反映学科的发展水平,又能促进学科的发展。

国内分类,多以成因和影响因素为主划分为自然塌陷与人为塌陷;降雨塌陷与抽水塌陷,振动塌陷;潜蚀塌陷与真空吸蚀塌陷以及瞬发性塌陷与迟后塌陷等,都嫌不够全面。康彦仁等提出按三级分类。即第一级按塌陷物质分为土层塌陷与基岩塌陷(据南方塌陷统计,前者占 96.1%,后者占 3.9%)。第二级按成因及主要诱发因素分为自然塌陷和人为塌陷,自然塌陷又可分为降雨、天旱、洪水、地震等引起的塌陷;人为塌陷又可分为排水塌陷,抽水塌陷、蓄水塌陷、荷载塌陷、振动塌陷及渗水塌陷等。第三级按塌陷坑数 n 分为巨型 $n > 100$,大型 $50 \leq n < 100$,中型 $10 \leq n < 50$,小型 $n < 10$ 。这一分类,较前进

了一大步。但尚有几点值得探讨。降雨引起塌陷并非只属自然因素,如果没有人为的场地开挖,改变地表径流环境,创造了积水、下渗有利条件,降雨未必都能致塌。其次过量抽取地下水与久晴不雨形成天旱,尔后放水灌溉农田致塌的事例也不少,因此天旱也并非全属自然因素。至于第三级分类,宜以数量级划分较为妥当,其次基岩塌陷不应列为岩溶地面塌陷的范畴。因此,作者在上述分类的基础上,提出如下的岩溶地面塌陷分类。如表 1—1 所示。

表 1—1 岩溶地面塌陷的分类

Table 1—1 Classification of Karst Collapse of Ground Soil

I 级(按塌陷成因)	II 级(按诱发塌陷因素)	III 级(按塌陷坑数量)
自然塌陷	地震,河水位升降	大量 $n \geq 1000$ 中量 $100 \leq n < 1000$ 少量 $10 \leq n < 100$ 个别 $1 \leq n < 10$
自然—人为塌陷	降雨入渗、表水渗漏、干旱灌溉	
人为塌陷	排水塌陷渗水塌陷 抽水塌陷荷载塌陷 蓄水塌陷振动塌陷	

第二节 我国岩溶地面塌陷的分布

我国岩溶塌陷涉及面广,且不少领域受到岩溶塌陷不同程度的危害。受害严重的以铁路、矿山为首,次为农田水利,城市建设,道路与管线路设施及人民生活等。

一、城市岩溶塌陷的分布

岩溶塌陷分布于 23 个省市。属省会城市的有贵阳(30)、昆明(139)、武汉(6)、南京(15)、广州(12)、杭州(9),属省直辖城市的有桂林(634)、柳州(20)、玉林(223)、郴州(56),怀化(25)、娄底(30)、湘潭(6)、遵义(4)、安顺(100)、水城(1023)、六枝(50)、肇庆(3)、江村(86)、黄石(43)、宜春(13)、九江(50)、个旧(500)、曲靖(20)、泰安(104)、唐山(20)、淄博(30),括号内为塌陷略数。

二、铁路岩溶塌陷的分布

铁路沿线,由于人为活动更为频繁,岩溶塌陷发展很快。60年代塌陷不到10处,70年代达到100余处,80年代达500多处,塌陷势头发展迅猛。对铁路已构成严重危害的有57处,

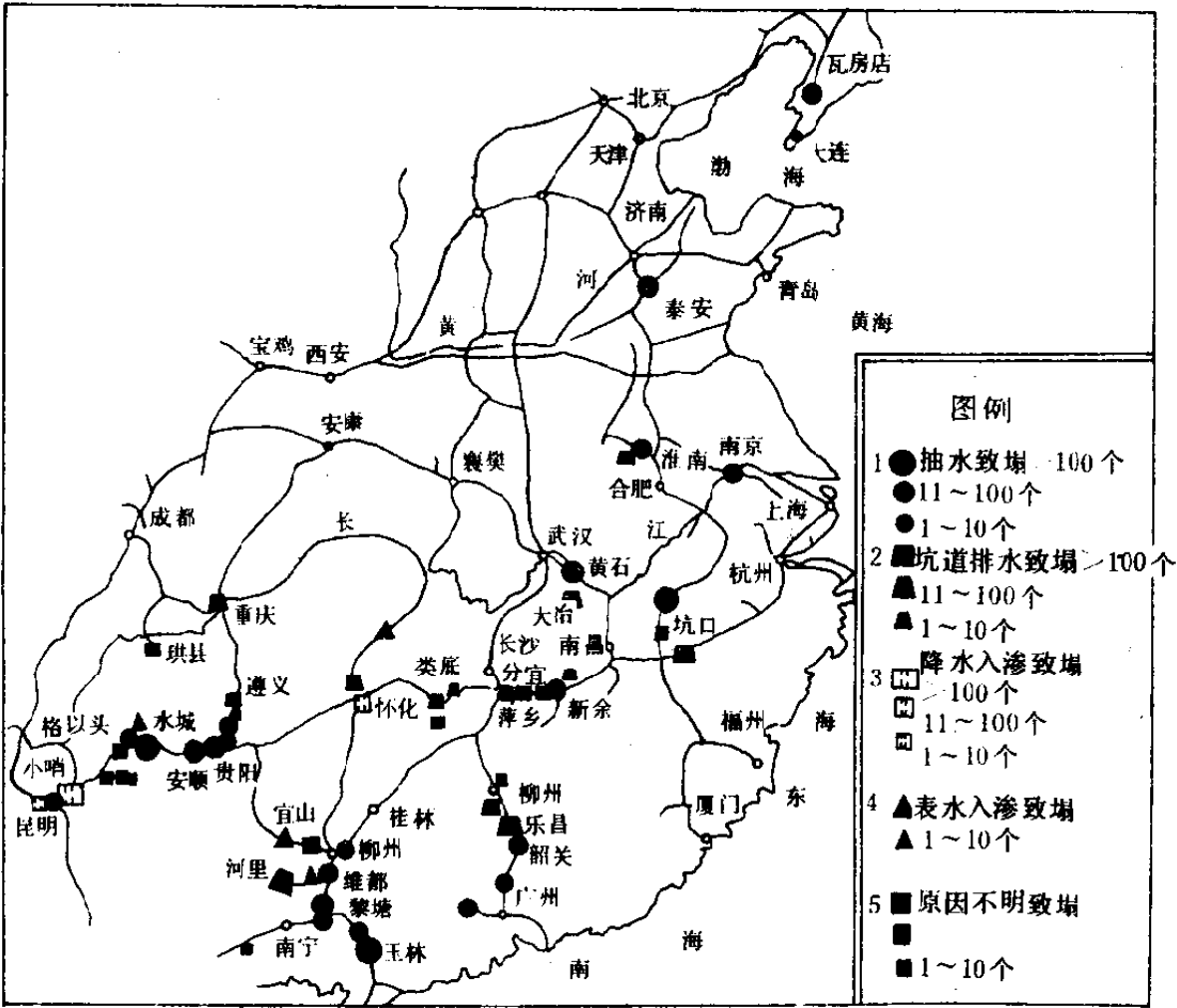


图 1—1 铁路沿线岩溶地面塌陷分布图示

Fig. 1—1 Karst Collapse of Ground Soil alongside China Railways

1—Pumping collapse > 100 pits; 2—Gallery drainage collapse > 100 pits; 3—Rain seepage collapse > 100 pits; 4—Surface water seepage collapse; 5—unknown origin collapse.

其中路基工程 30 处,桥涵工程 2 处,车站 18 个,隧道 6 座,其它工程 2 处。57 处塌陷中,由于抽取地下水致塌的 19 处,坑道排水致塌的 15 处,降雨与地表积水入渗致塌的 18 处,振动

致塌 1 处,致塌成因不明的 4 处。塌陷分布如图 1—1,情况简介见表 1—2。

表 1—2 铁路沿线主要岩溶地面塌陷一览表

Table 1—2 Main Karst Collapse Spots alongside Railways of China

顺 号	线 别	里程或 地 名	工程 名称	塌陷 (个)	情 况 简 介	致塌 原因
1	襄 渝 线	中梁山	隧道	>70	隧道埋深 100 余米,影响范围北侧 2.5 km,南侧 2.0km,影响民房用水 8118 人,牲畜 4840 头,农田灌溉 5.47km ² ,井泉干枯 48 个,1978 年已赔偿 97 万元	坑道排水
2	宜 珙 线	塘坝	中桥	4	桥台墩建成后,发生塌陷,墩台倾斜 20cm,φ60m 范围地面下沉开裂,后弃桥改作 11 孔 6m 的盖板箱涵	不明
3	成 昆 线	K1063	路堑	52	长 240m 路堑,11 年间共中断行车 50 多小时,长期看守,慢行,后作 21 个压浆井及地面封闭	降雨 入渗
4		碧鸡关	隧道	出水 开裂	距隧道出口 110m 抽水,致使隧道拱圈边墙开裂出水	抽水
5		高峰	车站	>20	抽水井周围 200~300m 范围内,房屋开裂,路基下沉,稻田中塌陷漏水,干旱	抽水
6	贵 昆 线	两所屯	车站	>41	前后启用过 8 个抽水井,道心塌陷,建筑物变形	抽水
7		树舍	变电所	8	场地基坑开挖后,降雨入渗并积水,在砂页层中(下伏石灰岩)发生塌陷,后作挖孔桩基础	降雨入渗
8		鸡头村	车站	3	在专用线出岔段站台路基开裂,破坏	降雨入渗
9		格以头	路基	5	1985 年 7 月 6 日晨,雨后塌陷,三节货车颠覆,损坏枕木 240 根,线路长 175m,中断行车 15 小时 18 分	降雨入渗

续上表

顺 号	线 别	里程或 地 名	工程 名称	塌陷 (个)	情 况 简 介	致塌 原因
10	贵 昆 线	干海子	路基	4	1979年9月1日轨下发生塌陷,三节货车颠覆	降雨入渗
11		小哨 秧田冲	路基 车站	直径 较大 117 较小 300~ 400	沿线古塌陷较多,因铁路建设,植被破坏,工程改变了地表水迳流条件,路堑积水,路堤阻水,渗漏集中,全段压浆、旋喷、封闭排水等治理措施	降雨入渗
12		K606 +475 (园艺场)	路基	1	直径 6m,深度大于 4m,塌陷与左侧落水洞相通,表水成漩涡状向下排泄,停运 61 小时 40 分	降雨入渗
13	盘 西 线	尖山	隧道	3	隧道顶及边墙开裂漏水,地面塌陷 $\phi 12\text{m}$,深 8m,大量地表水灌入后加剧了塌陷与开裂漏水	坑道排水
14		胜境关	隧道	1	施工时出口段稻田中塌陷,大量表水灌入,后将塌陷作竖井	坑道排水
15		平关	隧道	>10	隧道顶部岩溶负地形中发生塌陷,使一段贵昆公路一改再改	坑道排水
16	川 黔 线	李家湾	车站	11	不断增加抽水井,塌陷范围不断扩大,耕地疏干,房屋开裂,路基下沉	抽水
17		K290 +970	路堤	1	1973 年及 1985 年 6 月 12 日,降雨时塌陷,开挖后作钢筋混凝土板跨过	降雨入渗
18		息峰	路基	8	地表为溶蚀洼地,雨季排泄不畅,时有塌陷发生,并淹没公路与铁路	雨水入渗
19		都拉营	路基	4	两次洗井时都发生塌陷,疏干稻田,路基变形	抽水
20		南明河	路堤	1	塌陷 $\phi 12\text{m}$,可见深 4.5m,中断行车 4 天,回填 1500 方片石与土	抽水
21	黔 桂 线	金城江	路基	>20	龙江左岸台地,河水位涨落时有发生,路堤边坡下滑,路基时有塌陷,危及行车安全	河水位 涨落

续上表

顺号	线别	里程或地名	工程名称	塌陷(个)	情况简介	致塌原因
22	黔桂线	六甲	堤, 堑站	>10	塌陷主要分布三个区间, 司机曾掉入陷坑, 长期看守、慢行	表水入渗
23		宜山	站、路基	>10	多次重复塌陷, 回填无效, 看守, 慢行, 一处曾作钢筋混凝土板	河水位涨落
24	湘桂线	佳田~凤凰	路基	5	K579+100~200, 线路右距井 30~160m, 原单线距井 460~590m, 未曾发生过塌陷	抽水
25		黎塘北站	车站	13	K 666 +000 左200m 为抽水井, 回填石碴	抽水
26		黎塘南站	车站	2	K667+700 左 500m 为抽水井, 回填片石 50m ³	抽水
27		屯里	路基	1	1990 年 3 月 28 日发生塌陷	降雨入渗
28		渠旧~赖端	路基	1	于左江右岸, 1986 年 3 月塌陷, 用扣轨加固右股道	河水位涨落
29	来合支线	河里	车站	>100	矿坑漏水塌陷, 铁路两侧水库干涸, 中断行车 100 小时, 部分房屋开裂, 封矿坑后塌陷频率锐减, 水库蓄水	矿坑排水
30	黎塘线	玉林 K148	路堤	437	1981 年 1 月 3 日放水灌田, 4 日凌晨塌陷, 之前天旱抽水, 降深 7~8m, 塌陷时水柱高达 6m, 最大塌陷长 160m, 宽 40m, 深 72m, 毁田 0.92km ² , 路基下沉开裂	先抽水后表水入渗
31	湘黔线	杨市	路堤	1	1974 年 1 月 1 日在 K145+510 左 20m 塌陷, 发展渐至路基	矿坑排水
32		K151~K152	路堤	34	1983~1984 年塌陷, 桥台下沉开裂, 路基下沉, 浆砌片石开裂, 水井干枯, 农田失耕, 河水渗漏, 已整治	矿坑排水
33		怀化	车站	14	1973~1986 年间塌陷, 在陷坑中有时可听到水声, 1991 年新塌陷一处, 后用轨枕板, 塌陷有所减少, 但未整治	降雨入渗

续上表

顺号	线别	里程或地名	工程名称	塌陷(个)	情况简介	致塌原因
34	娄邵线	K75+970	路基	1	1982年2月10日塌陷,扣轨,慢行,后用钢筋混凝土板处理	降雨入渗
35	枝柳线	黄金坳	路基	9	1986年8月起路基下沉,塌陷,中断行车1.5小时,降速25km/h	矿坑排水
36		吉首	路堤	2	K1094+752,K1098两处曾发生塌陷	积水入渗
37	京广线	许家洞	车站	2	附近改河爆破开挖;1982年6月~1983年4月发生塌陷,旋喷注浆加固深22~60m	振动
38		南岭	隧道	40	1980年12月~1986年6月发生塌陷,河水灌入坑道#24塌陷深95m,稻田井泉疏干,工期延长,地面与坑道中压浆,钢筋混凝土桩,栅绕道坑等处理,花费达2570万元	坑道排水
39		大瑶山	隧道	>300	埋深约450m,影响范围宽约2km,民房37间受损及影响800多农户生活	坑道排水
40		山子背	车站	8	1987年1月~4月塌陷,中断行车3小时40分,限速压浆处理	抽水
41		冬瓜铺	路基	1	K2111+590道心,于1992年3月24日19时,大雨后发生塌陷,直径1.5×1m随即回填,压浆处理	降雨入渗
42	专用线	云浮硫铁矿	路堤	10	1984~1985年在长150m段发生塌陷,压浆处理	抽水
43	浙赣线	萍乡	路基	1	塌陷坑影响浙赣线及青山支线,距矿坑2.2km,作桥跨过	矿坑排水
44		珠亭山	车站	2	1972年12月22日挖电缆坑发现即将坍至地面的二个土洞	不明
45		分宜	车站	84	1964~1988年的塌陷,路基下沉,长期看守,慢行,已压浆整治	抽水