

第 2 章 隧道施工地质灾害状况

在围岩变形失稳塌方，涌、突水，涌、突泥，涌砂，洞内泥、砂石流，瓦斯突出爆炸，岩爆等地质灾害及由这些灾害引发的隧道地表塌陷及地表水源枯竭中，以隧道水害最为常见。从灾害损失而言，以水害和泥害最为严重。

2.1 围岩变形失稳塌方

变形 (deformation)，指物体在外来因素作用下产生的形状和尺寸的改变。

隧道围岩的变形指由于隧道的开挖，在围岩自重应力、构造应力、节理裂隙发育分布等因素作用下产生的周边位移和拱顶下沉。

塑性软质围岩，在围岩自重应力、构造应力、节理裂隙发育分布等因素作用下产生的周边位移和拱顶下沉，可以达到一定的量值且持续相当长的时间，当周边位移和拱顶下沉超过一定限值时，称为大变形。

围岩变形达到或超过极限，失去其自身稳定性时，造成围岩的失稳塌方。

围岩大变形是围岩与隧道初期支护共同作用的结果，与隧道围岩所处应力场、开挖方法、初期支护强度相关，其直接危害主要表现为初支的破坏和隧道限界的侵限。

四川都 (江堰) 汶 (川) 高速公路龙溪隧道进口段，因围岩大变形，致使初支两次被破坏。

全长 20 050 m 的兰新铁路二线乌鞘岭特长隧道，是我国国内目前最长的单线铁路隧道，位于改建铁路兰新线兰武段打柴沟车站和龙沟车站之间，隧道洞身最大埋深 1 100 m。隧道施工中发生了严重的围岩大变形，主要表现为隧道中部穿越岭脊地段由 $F_4 \sim F_7$ 断层构成的“挤压构造带”千枚岩、断层糜棱岩在深埋高地应力条件下的软弱围岩大变形，拱顶最大下沉达 1 053 mm，

最大水平收敛变形量达 1 034 mm，导致初期支护开裂破坏并严重侵入衬砌净空等，不得不将初期支护全部或部分拆除重做，再施作二次衬砌。原位应力测量结果表明，大变形洞段构造应力作用明显，最大主应力达 22~24 MPa，地应力总体特征为现今构造应力大于等于垂直主应力。

西(昌)攀(枝花)高速公路徐家梁子隧道位于攀枝花红格镇新九乡，属川西高原与滇中高原接壤部位的龙带山脉中南段，山高谷深，山脉两侧顺坡而下的枝状、鸡爪状冲沟发育，呈现出低缓的山脊与凹下的沟谷相间的微地貌形态。区内出露地层主要为前震旦系会理群(P_{th1})及第四系全新统残坡积层(Q_4^{el+dl})。前震旦系会理群主要岩性为灰白色至灰色花岗岩、灰绿色角闪岩、深灰色变粒岩、浅灰色片岩、花岗质混合岩、花岗岩混合岩、角闪岩、变粒岩、片麻岩等。受昔格达大断裂影响，隧道出口段地层中次级断层极为发育，围岩条件极差。围岩为构造岩、花岗质糜棱岩、强片理化绢云母片岩、岩粉夹角砾岩、断层泥夹角砾等破碎岩。其中糜棱岩段落较长，且为韧性糜棱岩，砂砾胶结后呈韧带状，遇水成泥。隧道施工开挖后，出口段围岩发生大变形，变形绝对值最大达 1 043 mm(见图 2-1、图 2-2)，造成喷混凝土表层脱落掉块，钢架扭曲、弯折、断裂，侵入初支限界。

无论是塑性还是脆性围岩，在围岩自重应力、构造应力、节理裂隙发育分布等因素作用下都将产生周边位移和拱顶下沉，当其变形达到一定限值(硬质、脆性围岩的变形限值远小于塑性围岩)后，将失去其自身的稳定性并发生围岩的塌方，称为围岩的失稳塌方。

围岩失稳塌方的直接危害，主要表现为对施工机具、施工人员的安全威胁；间接危害则是导致隧道上方地面塌陷。

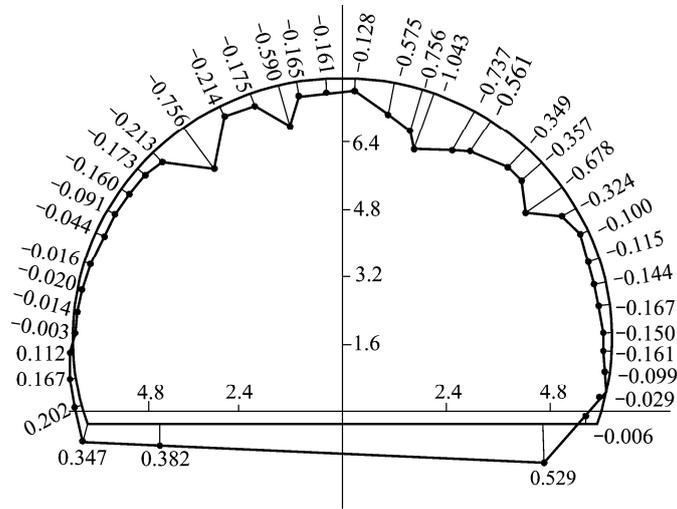


图 2-1 徐家梁隧道围岩变形侵限典型断面示意图

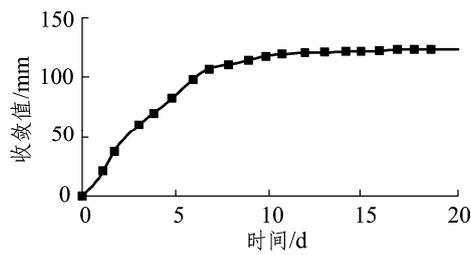


图 2-2 徐家梁子隧道侵限段围岩变形-时间关系

隧道围岩的失稳塌方，除了因变形达到一定限值后围岩失去其自身稳定性发生的塌方外，还有块状镶嵌结构岩体因处于临空面倒楔形块体（关键块体，Key block）坍塌引发的隧道围岩塌方（见图 2-3）、倾斜岩层隧道边墙和拱部的张拗折坍塌造成的塌方（见图 2-4）等。

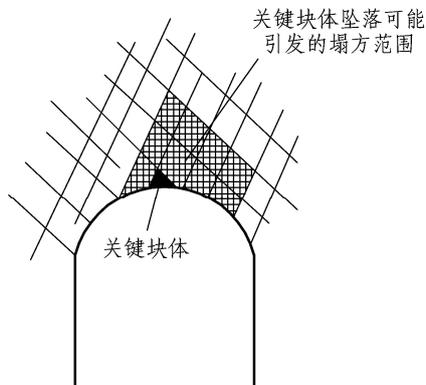


图 2-3 关键块体坠落引发的隧道围岩塌方



图 2-4 倾斜岩层隧道边墙和拱部的张拗折坍落造成的塌方

2.2 隧道涌、突水灾害

涌水 (water-inflow), 指在地下水面以下岩 (土) 体中采矿、开挖基坑或地下洞室时, 地下水不断地流入场地的现象。

围岩空隙中的地下水 (孔隙水水源、裂隙水水源、岩溶水水源)、地表水水源, 在压力作用下涌出, 称为涌水。量大、势猛、突发的涌水, 称为突水。

严格地说, 涌水是指隧道施工开挖揭穿水体——岩溶充填水 (溶洞水、地下暗河水、岩溶管道水、溶缝水)、含水体——裂隙岩体和破碎岩体含水体

(富水顺层错动破碎带、富水节理密集发育破碎岩体、富水断层破碎带)和地下向斜构造蓄水构造,水体及含水层、地下向斜蓄水构造中水向隧道的宣泄。而突水是指由于隧道的开挖,造成隧道开挖工作面(掌子面、开挖轮廓线)与前方或开挖轮廓线外水体间、隧道开挖轮廓线外侧存在的水体、含水层、地下向斜构造蓄水构造间岩盘厚度过薄,不足以抵抗水体、含水层和地下向斜构造蓄水构造应力(包括自重应力和承压力);或由于地下水位的上升,水体、含水层、地下向斜构造蓄水构造地下水位上升,作用于隔水岩(土)盘应力增大,导致隧道开挖工作面(掌子面、开挖轮廓线)与前方或开挖轮廓线外的水体、含水层或地下向斜构造蓄水构造之间岩(土)盘破坏,水体、含水层和地下向斜构造蓄水构造中水向隧道的宣泄。

隧道施工涌、突水的直接危害,表现为对施工隧道、导坑、洞内施工机具设备的淹没,冲毁洞内施工机具、设备、设施、材料,对洞内施工人员造成生命威胁,严重者甚至冲毁洞口外工程、堆放材料及临时设施;间接危害则是造成隧道上方地表水源的流失乃至枯竭和地面塌陷。

在已建和在建的铁路隧道中,80%以上的隧道在施工过程中遭遇过涌水灾害,至今仍有30%的隧道工程处于地下水的威胁中,岩溶隧道更以涌水量大且突然著称。

以已建及在建的80座特长铁路隧道为例,除23座在建隧道目前未遇灾害外,其余57座已建和在建特长铁路隧道中,31座隧道发生过不同程度的涌水灾害,所占比例高达54.39%。

表2-1是32座已建及在建特长铁路隧道施工灾害统计情况。

表2-1 32座已建及在建特长铁路隧道施工灾害统计情况

序号	隧道	线路	施工水害状况
1	大瑶山隧道	衡广复线	穿越九号断层涌水量达30000 m ³ /d,斑古坳竖井段平导施工开挖在94+213位置揭穿充水岩溶管道,涌水致使平导和竖井被淹长达数月之久;F ₉ 断层上盘破碎带94+840~94+775位置,施工开挖揭穿充水溶管,掌子面大股涌水曾造成洞内施工设备被淹;94+636正洞施工揭穿充水岩溶管道涌水,涌水量达1000~2000 m ³ /d
2	圆梁山隧道	渝怀铁路	正洞出口端DK361+764施工揭穿右侧与地表岩溶相通的充水溶缝,造成大规模涌、突水,高峰持续时间仅28 min,估测水量达11×10 ⁴ m ³ ,涌水水头高达3 m,涌

			水携带约 1 500 m ³ 泥沙及石块淤积在隧道底部，淤积平均高度达 0.8 m，涌、突水造成存放在洞口的材料、机具被冲走，隧道洞口外炭厂大桥施工材料、机具设备被淹没。由于各种原因，该涌水点未进行及时封闭处理，致使之后每逢隧道址区降雨，DK361+764 涌水点就再次涌、突水，严重时涌、突水中携带的碎石呈抛射状直冲对面衬砌混凝土边墙
3	关角隧道	西格二线	关角隧道进口 6 号斜井段涌水，投入 300 多台大功率水泵进行接力作业，确保水位持续下降，日排水量最大超 170 000 m ³ 。2008 年 5 月 16 日，3#斜井 X5+66 掌子面处中部 2 个钻孔涌水，射距 5~7 m，涌水量最大达 9 000~9 500 m ³ /h，斜井被淹约 196 m，涌水开始浑浊，后逐渐变清澈，造成斜井停工 48 d。2007 年 4 月 8 日，4#斜井 X9+34 掌子面下部 2 个钻孔涌水，射距 3~4 m，涌水量最大达 6 000~6 500 m ³ /h，斜井被淹约 456 m，造成斜井停工 69 d。2009 年 7 月 4 日，4#斜井 X5+80 掌子面下部 1 个钻孔涌水，7 月 5 日涌水量最大达 9 500~11 000 m ³ /h，斜井被淹约 155 m，造成斜井停工 35 d
4	野山关隧道	宜万铁路	突水、突泥，42 名被困人员获救生还，3 人死亡，尚有 7 人下落不明
5	齐岳山隧道	宜万铁路	平导掘进 360 m 时遇涌水，如高压水枪喷射而出；平导掘进至 550 m，一股急流从超前钻孔中喷出，水量达 20 000~30 000 m ³ /h；正洞施工至 1 700 m 时，突发涌水，瞬时涌水量达 18 000 m ³ /d。正洞、平导被淹 1 000 余米。先后遭遇 5 次特大突泥、突水，穿越了 10 条大断层、3 条暗河，应对了单孔涌水 52 000 m ³ 、正常涌水 176 000 m ³ /d、最大涌水 743 000 m ³ /d 的超大涌水量的挑战

续表 2-1

序号	隧道	线路	施工水害状况
6	大别山隧道	合武铁路	涌水
7	金寨隧道	合武铁路	大量涌水
8	霞浦隧道	温福铁路	穿过 6 条富水断层构造带，开挖时最大涌水量达 23 400 m ³ /d
9	长梁山隧道	塑黄铁路	施工穿越 F ₁₂ 断层涌水，涌水量达 800 m ³ /d，最多时达 2 000 m ³ /d，头顶水流如注，脚下急流成河。5 号斜井施工至 60 m 深时遇到股状涌水，随着斜井的掘进，涌水量增大，至 130 m 时达到 3 200 m ³ /d，涌水汇集在

			掌子面给施工造成巨大困难，涌水持续半年多
10	大南山隧道	厦深铁路	施工穿越 F ₂₋₁ 断层破碎带 DK262+411 时出现了突泥、涌水，涌水量约为 1 440 m ³ /d，段内围岩主要为花岗岩、石英岩、辉绿岩等组成的断层角砾岩，遇水泥化
11	东秦岭隧道	宁西铁路	涌水量达 16 000 m ³ /d
12	乌蒙山 2 号隧道	贵昆复线	2009 年 5 月 13 日 14:05，横洞工区在中部平导掘进至 2 200 m 时，掌子面发生涌水，喷水距离超过 1 m，每小时涌水量达 6 500 m ³ ，导致平导洞内交通暂时处于瘫痪状态、平导洞内基本停工
13	大瑶山 1 号隧道	武广客专	涌水、涌泥 21 次。2006 年 8 月 15 日凌晨 3 点多钟，在对 F ₆ 断层带位置平导掌子面进行喷射混凝土封闭施工时，从掌子面最上端喷射泥水，涌水口从 20 cm 很快扩大到 2.5 m，1400 多米平导被淹没，水深达 40~50 cm，涌水、涌泥量达到了 1 500~2 000 m ³ /h。10 月 30 日，进口正洞掌子面出现突水、突泥，掌子面突水、突泥达 30 000 m ³ ，淤泥厚度达 9 m
14	北天山隧道	精伊霍铁路	2 次大的突泥、12 次大的涌水。仅北天山隧道进口端的涌水量，就超过了 13 个西湖的水量
15	六盘山隧道	天平铁路	3 号斜井涌水，掌子面出水孔喷出的水柱比 2 号碗口还要粗，含压涌水最远喷出七八米远，最大涌水量达 5 000 m ³ /d
16	新大巴山隧道	襄渝二线	24 次大规模突泥、涌水、涌砂，累计清理淤泥、涌砂、泥夹石和泥浆超过 1.8 万立方米。2006 年 8 月 25 日晚 21 时许，进口平导掌子面突发大规模涌泥、涌水，大量的泥水伴着砂石以 14 660 m ³ /h 的速度向外喷射，顷刻间整个掌子面被泥沙掩埋近 2 m 深，最大涌水量达到 37 800 m ³ /h；水沟淤积、轨道淹没，运输道路中断。2006 年 9 月 26 日的涌砂、涌水，总涌砂量达 61.2 m ³ ，涌砂含量达 22%。2007 年 1 月 24 日，出口正洞第 22 横通道处发生溶洞充填干塑状黏土突出，涌出干土约 2 600 m ³

续表 2-1

序号	隧道	线路	施工水害状况
17	秀山隧道	玉蒙铁路	2007 年 6 月 26 日，秀山隧道出口特大涌水、涌砂，掌子面一个 20 cm 的水柱喷射而出，整个隧道像山洪暴发般，涌水卷着砂石像脱缰之马滚滚而来，钻爆作业平台被涌水推倒折断，装满砂石料的梭矿车被推出了 120 m，几十吨重的扒碴机被推出了离掌子面 70 m 以外，1 000 多立方米的砂砾、石块伴随涌出，填满了 1 200 m 排水沟，掩埋了平导的全部轨道，使平导运输、施工进入了瘫痪状态；2007 年 10 月大涌水
18	雁门关隧道	北同蒲铁路	涌水

19	岩山隧道	贵广客专	大量涌水
20	三都隧道	贵广客专	平导涌水涌泥
21	同马山隧道	贵广客专	2010年8月以来,2#斜井内出现较大涌水
22	象山隧道	龙厦铁路	2010年12月23日发生的龙厦铁路象山隧道涌水塌方事故,由于涌水量持续增加,导致隧道上方的象山村、新祠村等地地表出现局部沉降、部分房屋开裂
23	大柱山隧道	大瑞铁路	涌水、突泥
24	秦岭隧道	西康铁路	II线平导出口反坡段施工,遇富水区段,涌水量大,涌水量达28560 m ³ /d
25	乌鞘岭隧道	兰新复线	乌鞘岭隧道7号斜井从开工以来至2004年3月13日,涌水量为1200~2900 m ³ /d,从14日开始,涌水量达到3700~6300 m ³ /d,涌水主要来自围岩自身裂隙水和地表补给水
26	吕梁山隧道	太中铁路	斜井涌水
27	高盖山隧道	向莆铁路	5号斜井开挖至173m时,爆破后,拱顶及拱脚处出现较大渗水,渗流量达360 m ³ /d;4号斜井距洞口496m拱腰处,开挖工在进行周边眼掘进时,突然出现较大涌水,涌水量在600 m ³ /d以上
28	棋盘石隧道	向莆铁路	3号横洞发生特大涌水,水量瞬间达到15600 m ³ /h,正常施工严重受阻
29	青山山隧道	向莆铁路	2号斜井涌水最大达3000 m ³ /h
30	哈达铺隧道	兰渝铁路	阿坞斜井掘进至山脉富水带,掌子面遍布直径约10cm粗的水眼,整个工作面如同“水帘洞”一般
31	化马隧道	兰渝铁路	2010年7月26日上午,化马沟斜井兰州方向掌子面凿至350m处时,风枪眼里面突然直往外冒水,起初水量很小,放炮后掌子中央部位涌出大量水流,水量达1600 m ³ /h

隧道施工涌水在时间上主要具有即时性和突发性两大特性：

(1) 即时性：隧道施工开挖揭穿水体、含水层，水体、含水层中的水向隧道即时涌出。

(2) 突发性：由于含水层与隧道开挖面间岩盘厚度过薄，不足以抵抗水体、含水层侧向作用应力，或由于地下水位的上升，水体、含水层侧向作用应力增大，导致含水层与隧道开挖面间隔水岩（土）盘破坏，水体、含水层中的水向隧道突然涌出。

除此之外，隧道施工岩溶涌水在时间上、空间分布和涌水量方面还具有

如下特性：

(1) 滞后性：岩溶地区铁路长隧道岩溶涌水的滞后性，主要表现在既有隧道内涌水水量的增大，不随地表大气降雨量的出现而立即增大，而是当降雨经过一段时间或累积大气降雨量达到一定量时才突然增大。

观测表明，娄山关、梅花山、大瑶山等隧道洞内岩溶涌水量突然增大，滞后于地表大气降雨开始时间约 5~15 h。一般而言，滞后时间随隧道岩溶段埋深、岩溶管道贯通度变化而变化。埋深越大，滞后时间越长；岩溶贯通度越高，滞后时间越短。

(2) 阵发(间歇)性：由于岩溶涌水往往含有大量的泥沙，在岩溶涌水时，水中所含泥沙常由于涌水速度的下降，沉积物淤塞涌水口或岩溶管道中的某一段，致使涌水中断。当岩溶管道水位上升至一定高度时，水压力作用又将堵塞物破坏，造成二度、三度涌水。

(3) 空间特性：岩溶地区地下水动力剖面分带决定岩溶发育形态和地下水的赋存形式。因此，铁路长隧道所处岩溶地下水动力剖面分带，决定了隧道岩溶涌水在空间上的分布。

垂直渗流带中的隧道涌水，施工阶段主要是雨季施工揭穿垂直岩溶致使沿垂直岩溶下渗雨水向隧道宣泄，旱季主要以拱顶或边墙渗水为主。

在深部缓流带，隧道涌水属岩溶裂隙水，但因涌水具有较大静水压力，涌水在隧道衬砌周边均有分布。

在混流带，因岩溶发育，涌水多为揭穿含水岩溶管道或岩溶管道水突破隔水层涌水。

在构造位置上，浅埋长隧道岩溶涌水常发生在背斜轴部或向斜两翼；深埋隧道岩溶涌水则多发生在背斜两翼或向斜核部；张性断裂带及压性断裂带中的张性和张扭性裂隙发育十分有利于深部岩溶发育，长隧道施工对其揭穿极易发生岩溶涌水。

(4) 水量特征：隧道施工期揭穿岩溶型和岩溶突破型涌水，在开放型岩溶地区，涌水一般经历由大到小而后趋于稳定的水量变化过程；在封闭型岩溶地区，涌水量由大到小直至枯竭。

在运营隧道中，恒常年型岩溶涌水，因雨季大气降雨造成的涌水量变化，经历增大—稳定—减小，并随着降雨的结束，最终趋近于常年恒常涌

水量的过程；突破型岩溶涌水水量由大到稳定到小，降雨结束一段时间后涌水枯竭。

应该指出的是，长隧道岩溶段长度越长，单位时间、单位长度隧道涌水量一般也越大。

研究表明：隧道越长，有水的机率越大；分水岭地区的隧道绝大部分都遇到水，流量相对较大；沿河傍山隧道和丘陵地区隧道遇水的机率及流量相对小；河曲地带的隧道则介于两者之间；气候湿润，降雨、融雪补给条件良好的隧道有水的机率大于干旱少雨、补给条件不佳的隧道；地表径流系数小的地区隧道有水的机率大，特别是岩溶地区的隧道有水机率最大；隧道中涌水、漏水、渗水等现象多发生在空隙率大，即透水性好的岩土体地段，亦即孔隙率大、裂隙率高的岩土体地段和可溶性岩石被“岩溶化”的地带；就岩层结构特征而言，透水的岩层与相对不透水岩层的接触带，可溶性岩石与非溶解岩层的交接带，常为地下水富集区，一旦切穿就会导致隧道发生涌水、漏水；隧道遇水的机率由大到小按断层、向斜、背斜、单斜的顺序排列。就涌水量而言，隧道内涌水以岩溶水最为严重。

2.3 隧道涌、突泥灾害

涌泥 (mud-inflow)，指由于隧道施工开挖，揭穿隧道开挖工作面范围内的含水、饱水或过饱水黏土充填岩溶 (洞穴、管道、溶缝、溶槽、溶沟) 和夹黏土及细小岩石颗粒的富水压性断层上盘强烈破碎带，导致岩溶中充填的软塑状、流塑状的含水、饱水或过饱水黏土及富水压性断层上盘强烈破碎带岩石块体间夹的黏土及细小岩石颗粒向隧道的流泄。

突泥，则是指由于隧道施工掌子面的接近、通过，存在于掌子面前方和开挖轮廓线外的泥水混合充填岩溶、黏土充填岩溶、黏土夹块石充填岩溶、压性断层主干断层带断层泥或断层糜棱岩和间夹黏土破碎岩石块体压性断层强烈挤压破碎带，泥水混合充填岩溶底部黏土、岩溶充填黏土、断层泥或断层糜棱岩、压性断层强烈挤压破碎带破碎岩石块体间夹的黏土，在自重应力作用、施工震动触发，或由于大气降雨造成泥、水混合充填岩溶地下水位上升、黏土含水率上升，岩溶上部充填水和下部充填黏土自重应力增大，由岩

石、黏土、初期支护、二次衬砌单独或组合构成的隔泥岩（土）盘被突破，黏土、断层泥、断层糜棱岩的突出。

隧道施工涌、突泥的危害，表现为淤塞隧道和导坑、掩埋洞内施工机具设备设施和施工人员，由此间接导致隧道上方地面塌陷。

由表 2-1 可知，大瑞铁路大柱山隧道、贵广铁路三都隧道、襄渝铁路二线新大巴山隧道、武广客运专线大瑶山 1 号隧道、厦深铁路大南山隧道、宜万铁路齐岳山隧道、野山关隧道、渝怀铁路圆梁山隧道 8 座特长隧道曾发生涌突泥灾害，占 57 座以建和在建特长铁路隧道的 14.04%。

隧道施工涌、突泥灾害与岩溶充填饱水黏土、间夹黏土及细小岩石颗粒的富水压性断层上盘强烈破碎带、由断层泥或断层糜棱岩构成的压性断层主干断层带密切相关，在时间上和涌水一样，具有及时性、突发性、阵发（间歇）性。

2.4 隧道涌砂灾害

涌砂（sand inflow），指由于隧道施工开挖或钻孔揭穿充填粉、细砂及水的岩溶，涌水中携带粉、细砂（含砂量 $>10\%$ ）的涌水灾害向隧道的涌出，且由于涌水速度的下降，携带的粉、细砂淤埋隧道、导坑，或隧道施工开挖揭露全风化花岗岩脉，饱水花岗岩风化砂坍塌并向开挖面后方涌流的现象。

涌砂灾害多与涌水灾害伴生。

渝怀铁路圆梁山隧道、襄渝铁路二线新大巴山隧道、玉蒙铁路秀山隧道 3 座隧道遭遇过涌砂灾害，占 57 座已建和在建特长铁路隧道的 5.26%。

隧道施工涌砂，除与饱水的黏土质粉砂充填岩溶相关外，还与饱水的全风化花岗岩、花岗岩脉相关。

2.5 隧道洞内泥石流

泥石流（debris flow 或 mud-rock flow），指斜坡上或沟谷中松散碎屑物质被暴雨或积雪、冰川消融水所饱和，在重力作用下，沿斜坡或沟谷流动的一种特殊洪流。特点是爆发突然、历时短暂、来势凶猛和破坏力巨大。

隧道洞内泥石流指由于隧道施工开挖揭穿充填饱水或过饱水黏土夹块石岩溶、压性断层上盘强烈破碎带饱水或过饱水黏土夹块石，岩溶中充填的饱水或过饱水黏土夹块石、压性断层上盘强烈破碎带饱水或过饱水黏土夹块石坍塌后向隧道或导坑开挖工作面后方的涌流。

与地面泥石流灾害发生的降雨、积雪或冰川融化诱发不同，隧道施工洞内泥石流是隧道施工揭穿开挖充填饱水或过饱水黏土夹块石岩溶、压性断层上盘强烈破碎带饱水或过饱水黏土夹块石，岩溶中充填的饱水或过饱水黏土夹块石、压性断层上盘强烈破碎带饱水或过饱水黏土夹块石在重力作用下产生塑性流动的结果。

玉蒙铁路秀山隧道 1 座隧道发生隧道洞内泥石流，占 57 座以建和在建特长铁路隧道的 1.75%。

2.6 地面塌陷及地表水源流失、枯竭

地面塌陷 (surface collapse)，是指地表岩、土体在自然或人为因素作用下，向下陷落，并在地面形成塌陷坑 (洞) 的一种地质现象。

地表径流水、河流水、水库水、湖泊水通过陷坑流入隧道，造成隧道上方地表水流失甚至枯竭。

隧道地表塌陷及地表水源流失、枯竭，多与隧道洞内涌水、涌泥沙、塌方灾害密切相关。

衡广复线大瑶山隧道和龙厦铁路象山隧道 2 座隧道因洞内涌水发生地面塌陷，占 57 座已建和在建特长铁路隧道的 3.51%。

衡广复线大瑶山隧道 1 座隧道因洞内涌水造成隧道地表水源流失，占 57 座已建和在建特长铁路隧道的 1.75%。

2.7 煤与瓦斯突出、爆炸

瓦斯突出 (gas projection)，是指由于瓦斯含量和压力的增加，突破岩盘并瞬间释放大量的瓦斯和煤的一种地质灾害。同时满足空气中氧气含量达到 12% 以上、瓦斯浓度达到 5% 至 16% 之间、有足够能量的点火源三个条件，瓦

斯将发生爆炸。

煤与瓦斯突出 (coal seam and gas projection) 是指在压力作用下，破碎的煤与瓦斯由煤层内突然向采掘空间大量喷出，是另一种类型的瓦斯特殊涌出的现象。

煤与瓦斯突出具有 6 个基本特征：

(1) 突出的煤向外抛出距离较远，具有分选现象；

(2) 抛出的煤堆积角小于煤的自然安息角；

(3) 抛出的煤破碎程度高，含有大量的块煤和手捻无粒感的煤粉；

(4) 有明显的动力效应，破坏支架，推倒矿车，破坏和抛出安装在巷道内的设施；

(5) 有大量的瓦斯涌出，瓦斯涌出量远远超过突出煤的瓦斯含量，有时会使风流逆转；

(6) 突出孔洞呈口小腔大的梨形、倒瓶形以及其他分岔形等。

煤与瓦斯突出、瓦斯突出及瓦斯燃烧爆炸灾害的发生，会直接造成对洞内施工机具、设施、设备的破坏，危及洞内甚至是洞口外一定范围内人员生命安全。

2005 年 12 月 22 日 14 时 40 分，四川省都江堰至汶川高速公路董家山右线隧道发生特别重大瓦斯爆炸事故，造成 44 人死亡，11 人受伤，直接经济损失 2 035 万元。事故的主要原因是瓦斯在隧道拱顶坍塌内的聚集、浓度超限、瓦斯检测不规范、坍塌处理过程中模板台车配电箱附近悬挂的三芯插头短路产生火花。

2.8 岩 爆

岩爆 (rock-burst)，指在地应力高的岩体中开挖硐室，围岩应力突然释放，岩块破裂并抛出的动力现象。也称冲击地压，它是一种岩体中聚积的弹性变形势能在一定条件下的突然猛烈释放，导致岩石爆裂并弹射出来的现象。

岩爆产生条件包括：近代构造活动山体内地应力较高，岩体内储存着很大的应变能；围岩新鲜完整，裂隙极少或仅有隐裂隙，属坚硬脆性岩体。

隧道施工岩爆灾害发生的直接危害表现如下：

- (1) 直接构成对洞内施工机具、设施设备的破坏；
- (2) 危及洞内施工人员生命安全。

隧道施工岩爆灾害统计研究表明，除高地应力地区深埋隧道完整脆性岩体中可发生岩爆灾害，在浅埋隧道地表地形陡变点下方完整坚硬脆性岩体中也可发生岩爆现象，都江堰至汶川高速公路福堂坝隧道岩爆灾害即为浅埋隧道地表地形陡变点下方完整坚硬脆性岩体岩爆的一个例证。

