

岩溶地下水防治工程技术

谢常茂

(广西水文地质工程地质勘察院, 广西 柳州 545006)

摘要: 富水岩溶矿床开采过程中, 矿井的突水、涌水事故严重威胁着矿区的安全生产, 制约着矿区的经济发展, 实施防治水工程是不可避免的。通过对矿床充水条件、岩溶导水带特点和岩溶矿床水害特点的分析, 着重论述了实施防治水工程应采取的勘察与施工的技术手段和工艺措施, 对类似地下水防治工程的实施具有指导作用。

关键词: 合山煤田; 岩溶导水带; 岩溶水; 突(涌)水; 防治工程; 回填封堵; 注浆

中图分类号: TD745 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)09-0042-05

Technique of Prevention Engineering for Karst Underground Water/XIE Chang-mao (Guangxi Investigation Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Liuzhou Guangxi 545006, China)

Abstract: In watery karst mineral deposit mining, water irruption and water gushing are serious hidden troubles for safety. By the analysis on water accumulation conditions, characteristics of water diversion belt in karst and water disaster characteristics in karst deposit, the paper emphatically discussed the technology of survey and construction in water prevention engineering.

Key words: Heshan coalfield; water diversion belt in karst; karst water; water irruption and water gushing; prevention engineering; backfilling sealing; grouting

1 工程概况

合山煤田位于广西合山市境内, 煤田南北长 30 km, 东西宽 8 ~ 12 km, 含煤面积 264 km², 探明的地质储量 6.65 亿 t, 是广西最大的煤田, 煤炭产量曾达到 250 万 t/年。珠江干流——红水河由西向东切入煤田, 经鹅滩、马滩、十五滩和那岭滩流出矿区, 沿途切割了煤田主要含水层, 流程约 25.3 km, 流量 275 ~ 18800 m³/s, 流出煤田后 8.5 km 即为在建的桥巩水电站坝址(见图 1)。

合山煤田已有百年的开采史, 累计采煤 8500 万 t。解放后开采规模逐年扩大, 开采深度也逐渐加深, 采区逐渐靠近红水河, 进入 20 世纪 80 年代后, 骨干矿井和新建矿井都在邻近红水河的地方, 地下水危害也越来越大, 常因大量涌水或突水事故而不能正常生产。

桥巩水电站正常蓄水位 84 m(黄海高程), 装机容量 480 MW。水电站正常蓄水后, 库区内的十五滩、马滩和鹅滩将长期处于淹没状态, 矿井突水可能性大增, 涌水量也将更大。经调查论证, 电站浸没诱发的全矿区矿井涌水量增幅为 12.31% ~ 14.84%, 各矿井涌水量增量为 2% ~ 24%, 全矿区平均增量约 14.33%。

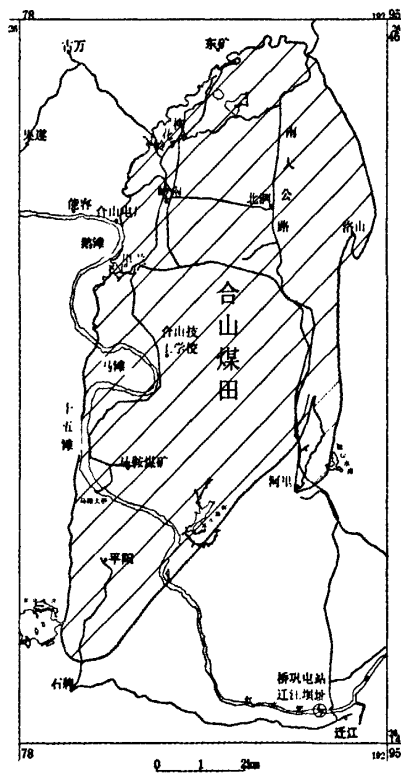


图1 合山煤田位置示意图

收稿日期: 2009-03-31

作者简介: 谢常茂(1963-), 男(汉族), 广西贵港人, 广西水文地质工程地质勘察院副总工程师、高级工程师, 钻探工程专业, 从事锚固与注浆工程、岩土工程勘察与施工、地基与基础工程、地质灾害防治工程勘察与施工等技术、质量管理及施工管理工作, 广西柳州市东环路12号, xcm801@126.com。

针对水电站蓄水对煤田安全生产的影响,合山矿务局投资 6000 多万元实施煤田防治水工程。

2 合山煤田矿床充水条件

合山煤田矿床处于合山向斜中,为多元结构的岩溶承压含水系统。矿床主要的充水含水岩层为 $P_2h^1 + P_1m^2$ 岩层,岩溶强发育,属承压含水岩层。煤田外围发育有多条地下岩溶管道系统,煤田内分布有东矿—马滩深部径流带。充水含水层中强岩溶发育带以网络状相通。区内的地下水以裂隙、溶洞水为主,岩溶水的补给来源充沛,有大量的外围地下水、红水河补给,尚有老空水和老窑水潜在补给。地下水的赋存与运移,均围绕着这些岩溶管网系统进行;使煤田区内地下水构成具有内、外相关,相互联系密切,具有统一水力联系的岩溶含水系统。

煤田内沿煤层倾向和走向发育多达几十条岩溶导水条带,并互相交织成网格状(如图 2)。岩溶导水条带类型有 3 种:一是大型溶洞或称岩溶管道(溶洞高度一般 1~5 m,少数 5~15 m,个别大于 20 m);二是小型溶洞集中发育带或称岩溶强发育带,即在数米或数十米范围内分布有多个小溶洞(溶洞高度一般为数十厘米,个别大于 1 m);三是岩溶裂隙集中发育带,即在数米或数十米范围内分布有众多的溶蚀裂隙,裂隙宽度一般数厘米至数十厘米,其中也可能分布有小型或中型溶洞。



图 2 马滩段导水带分布示意图

3 合山煤田井下透水害特点

经调查,煤田各矿井自始至终都存在不同程度的透水害问题。截止 2004 年,因井下采煤引发的矿井突水点约有 326 处,突水量由每小时数立方米到 3400 m³/h,淹没采区或矿井等透水事故也高达 24 次之多,井下透水有以下特点。

3.1 大流量突水引发井下透水事故

合山煤田已发生 24 次淹没采区或矿井事故,淹没的主要原因有:(1)降雨灌入;(2)老塘溃水;(3)电厂灰场溃水;(4)排水设备故障或防水措施不当;(5)溶洞或导水带突水;(6)与红水河有关的岩溶通道突水。由(5)、(6)造成的淹井事故约占总数的 37.5%,其它淹井事故则由降雨和人为原因造成。随着矿井的南移,与红水河有关的溶洞或导水带的大型突水将占主导地位。

3.2 突水流量动态与开采深度有关

(1)枯水位以上突水,受季节性变化影响显著。此类突水多处于煤田浅部至外缘岩溶潜水区的过渡地带,该带矿井距补给源较近,补给带地下岩溶特别发育,溶洞规模大,地下水补给径流通道畅通,一旦遭遇暴雨的袭击,雨水即通过强发育的地表岩溶、裂隙通道和冒落裂隙迅速进入矿井中,形成季节性的井下突水或涌水现象。

(2)过渡带突水。即从地下水枯水位至标高 30 m 水平之间,四煤底板以下岩溶强发育,地下水径流畅通,相应的突水点常年涌水,流量季节性变化明显,但变化程度随深度的增大而减小。这类突水由于与承压水补给边界较近,边界补给作用较强,突水点涌水量普遍较大。

(3)深部溶蚀裂隙及溶洞突水。该类突水通常指标高 30 m 水平以下,充水含水层介质以溶蚀裂隙与小型岩溶管道系统为主,充水含水岩层水头压力均在 70 m 以上,在高压水头作用下,岩溶水冲破溶蚀裂隙或溶洞充填物或残留煤层而突入井中。

4 防治方案分析

合山煤田是大水岩溶矿床,矿井涌水的主要来源是岩溶水,而对矿井生产影响最大的是大型溶洞或岩溶管道的集中突水。突水量大且来势凶猛的危险性突水主要是与红水河贯通的岩溶管道的突水,常造成淹井事故。因此,封堵或堵截岩溶管道是防治水的根本。红水河的三滩一处河段总长约为 10.27 km,是桥巩水电站蓄水的浸没影响带,也是红水河与煤矿间相互影响的河段,是该煤田防治水工程治理的基本区段;鹅滩、马滩和十五滩因其河床直接切割煤系含水岩层,河水对煤矿的影响更强,是防治水工程的重点区段。防治水工程方案可归纳为以下 3 种。

4.1 岩溶导水带全断面堵截方案

在三滩一处红水河左岸渗漏通道源头地带查找岩溶导水带,堵截沟通红水河与矿井水力联系的岩

溶管道,形成类似帷幕阻水的小断面截水墙,在岩溶强弱分布的长断面上组成不连续截水断面,实现阻断渗漏通道目的,从而达到防止河水倒灌或减少倒灌补给量的目的。其投资概算为9890万元。

4.2 重点岩溶导水带堵截方案

为了实现工程效益的最大化,同时又能达到保护重点地段和重点矿井的目的,故只堵截与重点地段和重点矿井有关的主要岩溶导水带。其投资概算为5675.47万元。

4.3 岩溶导水带堵截与地面局部铺盖方案

小煤窑开采已把河岸破坏成千疮百孔,洪水期可见河水灌入窿口,在局部滩面河水集中灌入岩溶导水带的地段进行局部铺盖封堵有一定的辅助效果,故在进行岩溶导水带堵截的同时,结合地段条件实施局部地面铺盖或封堵,可提高防治水工程的有效性。其投资概算介于第一、二方案之间。

经过对方案进行技术经济对比,第二治理方案投资大幅降低,重点地段、重点矿井经济效益高,且发展后劲充足,符合合山煤矿发展规划的需要,故确定采取第二方案进行防治。

5 防治水工程技术

5.1 堵截工程布置

堵截断面布置在红水河“三滩一处”岸边地带的 P_2d 隔水层中,断面上段必须与承压含水层顶板隔水层(P_2d)完好衔接,衔接高度 ≤ 10 m。断面垂直于地下水流方向,并尽量避开采空区。堵截控制深度一般为目的层以下40~60 m。工程布置如图3所示。



图3 十五滩段导水带堵截工程布置示意图

5.2 核心技术问题

根据煤田水文地质条件,进行地下水防治需要解决的核心技术问题包括3个方面:

(1)如何准确地查找岩溶导水带,确定岩溶导

水带平面分布和空间位置及其基本特征;

(2)如何封堵或堵截岩溶导水带;

(3)钻探、孔内物探与封堵工作如何统筹安排。

5.3 岩溶导水带勘查技术

5.3.1 地面物探

地面物探的目的是初步查明封堵断面上岩溶通道、岩溶破碎带、岩溶裂隙的分布位置、规模与特点,为布置勘探孔和防治施工钻孔提供依据。根据物理探测理论,结合国内探测实践经验,采用常规对称四极电测深法、单通道高密度的温纳装置和矩形三极装置法、多通道超高密度等3种直流电法进行比对,结果表明采用高密度三极装置视电阻率断面法及其提取的联合剖面及高密度温纳装置反演法,判别岩溶导水带大致位置是可行的。

5.3.2 钻探勘察

5.3.2.1 钻孔布置

(1)钻孔布置在经初步论证的强岩溶导水带的经过部位。

(2)对具体的强岩溶导水带勘探时,依据强岩溶导水带规模及其对相应矿井的影响程度布置钻孔。对于一般性导水带,宜按2~3孔/条布设;对规模大、对矿井影响大、且为重点治理地段的强岩溶导水带,为精确查明导水带的特征参数,勘探钻孔数不少于4个,并形成连续断面布置。

(3)勘探线垂直于地下水流方向布设,为查明导水带准确位置的钻孔间距为40 m,一般性的勘探孔间距按不大于80 m布置。

5.3.2.2 钻孔深度

一般情况下,要求探测 P_2h^1 的钻孔进入 P_2h^1 层位40~60 m;要求探测 P_1m 的钻孔,进入 P_1m 层位不应少于60 m,以连续10 m内,岩心无明显的溶蚀现象为终孔标准。

5.3.3 对孔透视(CT)

进行对孔CT透视的目的在于判明勘探孔或封堵施工孔间岩溶分布情况。首先在岩溶导水通道两侧各布一个钻孔,形成间距为40 m的对孔,孔深超过导水带底板深度20 m,然后进行孔内CT透视,确认导水带的具体位置、规模与特征,接着再用钻孔验证透视结果。

经过地面物探、钻探和对孔CT透视,可准确地确定岩溶导水带位置和分布形态。

5.4 岩溶导水带封堵技术

合山煤田区内存在3种类型的岩溶导水带,不同类型的导水带其水流条件和空间状态均有所不

同,应采取不同的封堵技术。

5.4.1 大型溶洞封堵技术

大型溶洞(岩溶管道)不仅空间大,且往往存在类似于地表河中的快速流,任何浆液要克服动力水的稀释作用和浆液的快速迁移都显得十分困难。采用投料回填,增加水流阻力,将自由流和管道流转变为孔隙流和慢速流,为灌注浆液创造条件是十分必要的。因此,对大型溶洞采用先封堵回填后注浆密实是最合理的方法。该方法是指对已揭露的溶洞,首先进行投料回填,然后在回填料中打管注浆充填和固结,达到防治水目的。

5.4.1.1 封堵回填技术措施

由大溶洞组成的大型岩溶通道往往呈不规则状,并有一定延伸方向。若从单一钻孔中向洞内投注骨料,在缺乏水动力或水动力不足条件下,多数骨料将在自重作用下堆积于钻孔附近形成锥形堆积体,当堆积到顶板附近时投料将变得十分困难。在溶洞周边和顶板附近就会存在无法充填的空间和死角,要实现溶洞大范围的充盈难度较大,应采取以下技术措施:

(1)对大型溶洞投料回填,应根据洞体的规模和填料的自然堆角布置多个回填孔,进行多孔回填,以确保充盈度。

(2)在地下水为慢速流或静水环境条件下,应采取混水投料回填法,跟水量宜大于 $50\text{ m}^3/\text{h}$,有利于填料扩散和预防堵孔;回填过程随着回填面的上升,采用孔内冲压方法给料体施加外力有利于填料的扩散。

(3)为顺利投料,减少堵孔现象的发生,填料通道部分钻孔直径宜不小于 150 mm 。

(4)顶部回填可采用下管灌注回填,即将灌注管下入到洞顶与填料顶面之间,管上端通过三通与水源或水泵连接,采用较小粒径的填料,投料时一边通水一边慢速投料,并上下串动灌注管。或直接通过灌注管灌入稠度较大的水泥砂浆封顶。

(5)填料采用河卵石最有利于回填和扩散。

5.4.1.2 注浆技术

(1)注浆浆液:一般情况下,先注水泥砂浆,待凝后原位钻孔注水泥浆;水泥砂浆强度 $\leq 20\text{ MPa}$,配合比一般为水泥:砂:水=1:1:0.4~0.5,砂为粒径 $\geq 2.5\text{ mm}$ 的中细砂;水泥浆水灰比为1、0.8、0.6,视吸浆量大小变换水灰比。

(2)注浆方法:由于回填料松散、孔隙率大,且缺乏足够的盖重层,因此注水泥砂浆可采用打管充

填注浆和上行式分段注浆法。注水泥浆时采用下行式分段注浆法,便于下段采用较大的注浆压力。

(3)注浆次序:若溶洞规模较大采取多孔注浆时,则应遵循逐渐加密原则,按2个或3个次序进行。

5.4.2 小型溶洞集中发育带封堵技术

由于小型溶洞高度都在几十厘米左右,不具备投料回填条件,灌注水泥砂浆或细骨料混凝土进行封堵是可行的方法。其技术要点如下:

(1)钻孔直径应大于 130 mm ,以便使用较大的灌浆管。

(2)采用专用砂浆泵灌注。

(3)为使砂浆或混凝土具有较好的可灌性和取得较大的扩散半径,可在浆液中添加适量的粉煤灰(20%~30%),为了减少浆液被地下水稀释离析,可添加适量的速凝剂(如水玻璃,加量为水泥质量的5%~10%)。

(4)细骨料混凝土坍落度应为 $18\sim 20\text{ cm}$,砂浆配合比为水泥:砂:水=1:1:0.4~0.5。

5.4.3 岩溶裂隙发育带注浆技术

(1)注浆浆液:岩溶裂隙发育带,裂隙宽度一般数厘米至数十厘米,注浆过程可先灌注浓水泥粘土浆或水泥砂浆等混合浆液,单位注入量明显减少时改注常规水泥浆液。

(2)注浆方法:下行式分段注浆,段长 $2\sim 3\text{ m}$,段顶卡塞纯压式注浆,待凝后再向下钻孔。

5.4.4 注浆控制

5.4.4.1 注浆压力控制

灌浆压力是灌注状态的客观反映。合理的灌浆压力可使岩溶通道有较好的充盈度,结石体才有较高的密度和强度,满足抗压抗渗要求。但岩溶导水带注浆主要为充填注浆,为控制浆液的过度漏失,注浆压力不宜过大。实践证明,由于岩溶导水带可灌性好,注浆压力取静止水头的 $2\sim 2.5$ 倍,注浆质量是有保证的。

5.4.4.2 注浆量控制

注浆量是一个与注浆过程、地层条件、浆液流变性和注浆压力相关的参数。浆液注入量对大型导水带尤为重要,这些大型导水带所需的注入量往往都很大,因此在注浆前需对注入量有个比较准确的估算,避免因盲目限制注入量而影响灌浆质量。

注浆量的控制原则是:当注入的浆液为有效注浆时,不应控制注入量的大小;当注入的浆液过度流失时,则应采取浓浆、低压、限流、限量、间歇注浆和

凝胶时间控制等技术措施进行控制。

5.4.4.3 注浆结束标准

在规定的压力下,吸浆量 $<50\text{ L/min}$,或当单位吸浆量 $<0.5\text{ L/min}$ 时再延续灌浆 30 min ,即可结束灌浆。

5.5 施工流程

鉴于无论是勘察孔或是注浆孔,只要发现了岩溶导水带,都要同时完成钻孔、孔内探测(CT)和注浆(封堵)等3项不同的工作,而这三项工作对孔内环境条件的要求各不相同,甚至互相抵触。不合理的工作流程将会使工作变得纷繁复杂,工作效率低;反之则有利于各工作之间的流水更顺畅,工作效率更高。因此正确处理各项工作之间的流水关系至关重要。

5.5.1 “钻孔—孔内探测—注浆”流程

钻遇不稳定地层特别是大溶洞时,为确保钻孔作业安全和孔壁稳定,往往需要采用套管护壁,而孔内物理探测不允许孔内存在磁性物质,若按“钻孔—孔内探测—注浆”的顺序开展施工,则必需进行以下附加工作:

(1)进行探测前必需将套管提出孔外,为了避免提出套管后孔壁失稳造成钻孔回填,又必需在提出套管前下入PVC管护壁,若孔壁严重失稳,则存在PVC管被挤压而变形甚至折断风险,孔内探测难以进行。

(2)即使能顺利完成孔内物理探测,则在注浆前必需提出PVC管;提出PVC管后存在钻孔回填的可能,如此必需进行扫孔清渣,甚至需要重新下入套管护壁,在注浆阶段则要边注浆边起拔套管。

5.5.2 “钻孔—封堵—钻孔—封堵—孔内探测”流程

这一流程是指每钻遇一段需要使用套管护壁的不稳定层或岩溶导水带,即先行对其进行封堵(注浆),然后继续钻孔,如此反复直至终孔。最后进行孔内探测和必要的注浆。这样可以避免上述的种种弊端,使工作更简化、更流畅,效率更高。

5.6 封堵效果监测和检验方法

5.6.1 地下水动态观测

在煤田范围内共布置了48个包括红水河水位、

钻孔水位、矿井水位等水位监测点,在工程实施期间开展煤田区域地下水动态长期观测工作。通过对地下水动态的变化,如水位抬高、动态变缓、对河水反应滞后等特征进行分析,即可初步判断防治水工程的堵截效果。

5.6.2 简易压水试验

通过封堵前、后的压水试验结果进行检验,当试验的岩体透水率 $<5\text{ Lu}$ 时,表明灌注成功。

5.6.3 钻孔透视(CT)检测

通过钻孔透视检验岩层中的裂隙和溶洞的充填程度,在一般情况下,封堵后断面处不应该再有明显的储水空间。同时依据注浆结石体同周围岩石或充水溶洞物性指标有相当差异的原理,透视也可以判断封堵充盈的范围与充盈程度。

5.6.4 矿井排放水试验

选择合适的矿井进行非稳定流排水试验,利用已有钻孔、矿井或新设钻孔作为观测孔,观测区域地下水动态,绘制 $s-lgt$ 曲线,根据 $s-lgt$ 曲线的特性判断封堵效果。

6 结语

(1)本次工程对查明的岩溶导水带实施了堵截,通过地下水动态观测、简易压水试验和孔内透视结果判断,堵截效果良好;矿井排水试验正在筹备中,相信会取得满意的结果。

(2)富水岩溶矿床开采过程中,矿井的突水、涌水事故严重威胁着矿区的安全生产,实施防治水工程是不可避免的。

(3)实施岩溶地下水防治工程,准确查找岩溶导水带是成功的前提和关键。采取适用的综合的勘察和施工技术是取得成功的保证。

参考文献:

- [1] 樊保东,等.桥巩水电站蓄水对合山煤田矿井安全产生影响的防治水工程初步设计报告[Z].广西柳州:广西水文地质工程地质勘察院,2006.
- [2] 樊保东,等.桥巩水电站蓄水对合山煤田矿井安全产生影响的防治水工程施工图设计阶段勘察与注浆试验报告[Z].广西柳州:广西水文地质工程地质勘察院,2008.