

文章编号:1001-4179(2013)19-0020-04

多级集水井结合混凝土压盖技术处理强岩溶涌水

李择卫, 王小玲

(湖南省水利水电勘测设计研究总院, 湖南长沙 410000)

摘要:在强岩溶地区建设水电站工程,处理大规模岩溶涌水问题往往耗费大量人力、物力,且处理效果不理想,成为困扰工程建设各方的一大难题。株溪口水电站位于强岩溶区,一期基坑开挖过程中,出现了大规模的基坑涌水问题,采用常规堵漏灌浆处理方法未能奏效,后通过采取“在各涌水点设立多级集水井及多级闸阀,渗流梯次引排减压结合混凝土压盖封闭”技术,成功解决了大流量涌水基坑浇注混凝土和灌浆施工技术难题,在处理强岩溶涌水地基方面开展了新的探索实践,对处理类似岩溶问题具有推广和应用价值。

关键词:岩溶涌水;集水井;混凝土压盖;株溪口水电站

中图法分类号:TV551.4 文献标志码:A

株溪口水电站位于资水干流中游,为低水头河床式电站,水库正常蓄水位 87.5 m,相应库容 0.333 亿 m^3 ,电站装机容量为 4×18.5 MW,多年平均发电量为 2.95 亿 $kW \cdot h$,是以发电为主,兼有航运、交通等综合效益的工程^[1]。

株溪口水电站的一期基坑以强岩溶地基为主,在施工过程中,大坝及厂房基坑均出现了大规模的涌水问题,基坑内最大涌水量曾达到 $5\ 000\ m^3/h$,给工程建设带来严重的困扰,一度使工期延期 3 个月。后采取了“在各涌水点设立多级集水井及多级闸阀,渗流梯次引排减压结合混凝土压盖封闭”技术,不仅成功解决了大流量涌水基坑浇注混凝土和灌浆施工技术难题,还赶回了推迟的工期,保证了二期工程的如期进行。

1 工程地质概况

株溪口水电站坝址处地形为“U”形河谷,河流流向为 $N41^\circ E$,河床高程 77.6 ~ 79.0 m,河床表面部分布厚 2 ~ 3 m 的砂卵石层,基岩面高程 74.5 ~ 76.5 m,坝轴线部位主要分布寒武系中统($\epsilon_2^2 \sim \epsilon_2^5$)深灰-灰黑色炭质板状页岩、含炭泥质灰岩、纹层状灰岩、泥质条带灰岩等。其中强岩溶涌水地基岩性主要为寒武

系中统第四及第五岩组($\epsilon_2^4 \sim \epsilon_2^5$)纹层状灰岩及泥质条带灰岩,分布于河床右侧一期基坑部位。岩层呈中厚-厚层状,产状主要为 $N65^\circ \sim 85^\circ E$ 、 $SE \angle 40^\circ \sim 70^\circ$,与河流斜交,倾向右岸偏上游。与岩层走向基本一致的 NEE 向陡倾角断层构造发育,一期基坑部位主要的断层构造有 F_{28} 、 F_{28}' 、 F_{29} 、 F_{36} 等。顺断层带岩溶发育,断层溶蚀带最宽达 9.0 m,影响带宽达 20 ~ 30 m,断层影响带岩层严重扭曲。岩体中层理面及横河向的节理面均较发育。坝基浅中部岩体岩溶呈网状分布,深部沿断层构造及层面方向的管道状溶洞穴发育^[2],溶洞呈串珠状分布,连通性好。

坝址区地质平面简图见图 1。

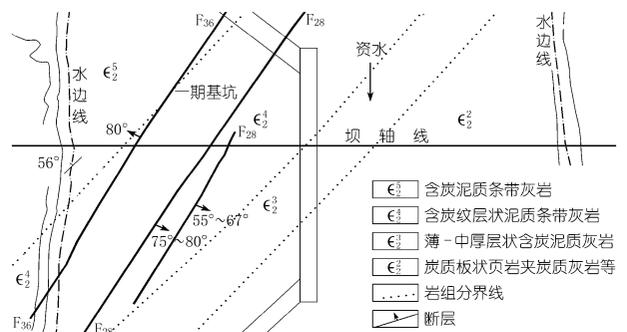


图 1 坝址区地质平面

收稿日期:2013-06-23

作者简介:李择卫,男,高级工程师,主要从事水文地质、工程地质勘察工作。E-mail:lzww@sina.com

2 基坑岩溶涌水与堵漏

2.1 坝基基坑岩溶涌水分析与堵漏

工程于 2005 年 11 月 2 日开工,设计分二期施工,一期先围右岸电站厂房和 5.5 孔溢流坝。2006 年 3 月,一期围堰完成,在对一期基坑进行抽排水过程中,未发现基坑有集中的岩溶涌水现象,因此开始进行 1~6 号闸坝及厂房基础的开挖。最先在 5、6 号上齿槽至堰体偏左侧揭露到一沿层面方向发育的较大溶槽,随着开挖深度的增大,沿溶槽出现较集中的涌水,流量约为 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3\ 600 \text{ m}^3/\text{h}$)。随后在进行 2、3、4 号闸坝基础开挖时,基坑多处出现大量涌水,导致基坑被淹,最大涌水流量增加到 $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ($5\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$),施工开挖被迫停止(一期基坑布置及漏水分析见图 2)。

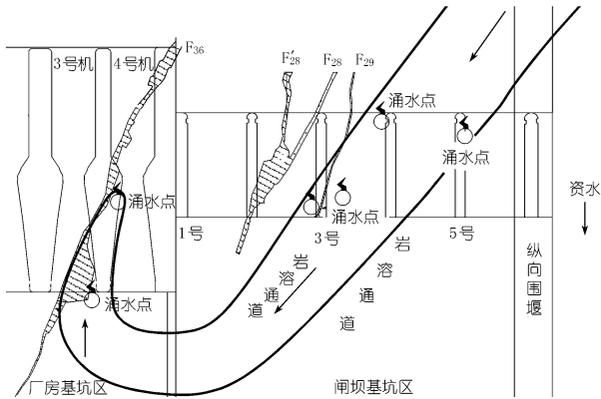


图 2 基坑漏水点分布及分析

根据坝址区地层、构造发育特征分析,坝址区岩溶发育有如下规律:强岩溶均发育于寒武系中统第四岩组及第五岩组($\epsilon_2 \sim \epsilon_5$)纹层状灰岩及泥质条带灰岩中,沿层面或断层方向(均为 NEE 向)形成连通性好、透水性强的管道状层间溶蚀带及断层溶蚀带,顺 2、3、4 号坝块向左上游延伸至纵向围堰与上游围堰的结合部位。该部位处于 F_{28} 断层及其影响带,为一期基坑岩溶最发育的部位。溶洞多呈半充填状,充填物为含泥砂卵石、黏土夹块石等,少量无充填。由此判断一期基坑大量涌水的原因是:纵向围堰上游及上游围堰地基下部沿 NEE 向延伸的岩溶通道发育,连通性好,尤其是沿断层溶蚀带形成贯通性好的管道状溶洞,在坝基部位的砂卵石盖层及浅部基岩被挖除后,岩溶通道被揭露出地表,外河水沿岩溶通道进入一期基坑,在坝基部位形成了多处串珠状分布的集中涌水现象。

根据岩溶堵漏“上堵下排”的常规处理原则^[3],对上游围堰及纵向围堰上游基础实施堵漏灌浆,在约两个半月的堵漏灌浆施工期内,采取了包括灌砂浆、掺砾石、掺加棉纱、海带、麻袋、及双液灌浆等多种方法,共

完成堵漏灌浆进尺 $1\ 350 \text{ m}$,灌注水泥约 $2\ 500 \text{ t}$ 。以上措施对较小的岩溶裂隙封堵效果较佳,在短时间内使基坑涌水有显著减少,但对于纵向围堰与上游围堰结合部位,由于岩溶通道连通性好、水流速度快,灌注的浆液及添加物多被快速流动的岩溶水冲走,堵漏灌浆的封堵效果不理想,短时间内未能有效堵住大岩溶通道的涌水。此时,工程控制工期受基坑涌水影响,已延期了近 1 个月,若要等漏水通道全部封堵后再进行基坑开挖,将造成工期的进一步延误,将无法如期完成工程建设。因此,决定暂停对围堰的堵漏灌浆,结合对 F_{28} 断层的处理,在大坝基坑下游 F_{28} 断层溶蚀带部位开挖一集水井,将大坝基坑部位所有涌水均引至该集水井进行强排,并且在大坝基础混凝土施工时,使集水井水位保持在 68 m 以下,从而使一期工程各项施工能够继续进行。

2.2 厂房基坑岩溶涌水分析与堵漏

2.2.1 基坑涌水分析

上述处理方案使大坝基坑施工得以继续进行,但在开挖右侧厂房基础时,随着开挖深度增大,基坑内外水头差进一步增加到 25 m 以上,厂房基坑下游沿 F_{36} 断层溶蚀带方向,又相继出现了 2 处突发性的基坑涌水,涌水点高程分别为 61.0 m 和 57.0 m ,涌水初始时夹带大量黄色泥砂,在 1 d 后即变为清水,总涌水流量迅速达到 $4\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上,同时,大坝基坑集水井部位的涌水量虽然有所减少,但减少的水量并不多,仍有约 $1\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$,厂房基坑被淹,工程正常施工再次受到严重影响。

通过对一期基坑构造及岩溶发育规律进行详细分析后发现,厂房基坑与大坝基坑的涌水实为同一源头。一期基坑下游主要由非可溶岩~弱可溶岩组成,不具备发育大规模岩溶的基本地质条件,基坑中亦无大规模的断层构造与下游河流沟通。因此,厂房基坑下游涌水仍主要来自于基坑上游河流,具体路径为:外河水自纵向围堰及上游围堰结合部位沿 NEE 向的岩溶通道进入一期基坑,在 2、3、4 号坝块斜穿坝轴线后,在一期基坑下游通过横河向的岩溶通道与 F_{36} 断层溶蚀带沟通,再顺 F_{36} 断层溶蚀带按自下游至上游的方向在厂房基坑下游涌出。后在大坝基坑处投入酸性大红试剂进行示踪试验,5 min 后即观察到厂房基坑涌水明显变色,也证实厂房基坑与大坝基坑涌水系同一来源。

根据连通试验,可推算出基坑岩溶水流速度约为 $0.5 \sim 0.6 \text{ m/s}$ 。厂房基坑出现大规模涌水后,大坝区集水井涌水量未见显著减少,主要是因为厂房涌水点与外河水头差增大后,岩溶通道中水流速度加快,将岩

溶通道中的充填物进一步淘空,岩溶通道扩大,从而导致进入一期基坑的水量增加。

根据以上分析,可将一期基坑涌水分析剖面简化成图3所示的模型,从图3可以看出,一期基坑地面众多涌水点具有相同的源头,各涌水点的水流在地下岩溶通道中也是互相连通的。

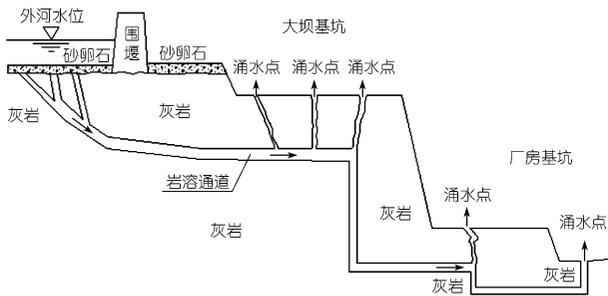


图3 一期基坑岩溶涌水分析剖面示意

2.2.2 基坑堵漏

针对一期基坑再次出现的严重岩溶涌水问题,对上游围堰、纵向围堰等重点漏水通道进行了第2次堵漏灌浆。自2006年9月13日到2006年12月底,共完成灌浆进尺2 013 m,灌注水泥7 235 t,河砂104 m³。但由于岩溶通道连通性好、水流速度快,直接在岩溶渗漏通道部位进行堵漏灌浆时,浆液损耗大,堵漏难度大、效果差,其间虽出现多次漏水通道被部分堵住、基坑短时间出现涌水量减少的现象,但很快岩溶通道又被击穿,涌水量重新增大。因此,第2次堵漏灌浆在耗费大量人力、物力后,未能真正有效减少基坑的涌水量,没有达到预期的堵漏效果。

3 多级集水井结合混凝土压盖处理技术

3.1 总体思路

为达到既不影响施工进度,又能保证工程质量的目的,通过反复论证,根据基坑各涌水点的水流在地下岩溶通道中互相连通的特点,提出了在各涌水点设立多级集水井及多级闸阀,渗流梯次引排减压结合混凝土压盖封闭的技术,成功解决了株溪口水电站大流量涌水基坑浇筑混凝土和灌浆施工技术难题。此方案采取“自下而上”的思路来解决基坑中的岩溶涌水问题,即通过采取措施,将基坑各部位无序涌水汇合后,在涌水口末端集中封堵,将岩溶水全部封闭于地下岩溶通道中,从而使快速流动的动态岩溶水变成了相对的静态岩溶水,然后再对处于静水环境下的岩溶通道进行封堵灌浆处理,从而达到处理岩溶涌水的目的。

具体思路是:在厂房4号机中段基底高程56.5 m(下称4号集水井)、3号机尾水段基底高程62.3 m

(下称3号集水井)及2号闸坝护坦段基底高程72.5 m(下称2号集水井)各设置一集水井(见图4),将各集水井附近溶洞、溶槽及断层内的涌水用钢管引入集水井,集中抽排,保证集水井以外的混凝土顺利浇筑,然后关闭各集水井闸阀,并对各集水井及管路进行封闭充填灌浆。

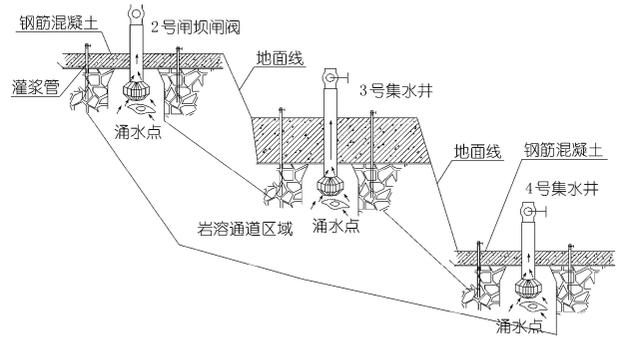


图4 集水井分布示意

此方案的优点是:既解决了基坑涌水对现场施工造成的不利影响,使基坑开挖、基础混凝土浇筑能够顺利进行,对工期影响小,同时在对坝基及厂房进行基础处理时,浆液浪费少、时间短、见效快,施工质量可控性强。

3.2 方案实施

根据以上设计思路,首先在4号主机段爆破形成一个9 m×6 m×3 m(长×宽×深)集水井(4号集水井)。将3号机中段溶蚀坑涌水通过3根带闸阀钢管引至4号集水井,管口一端连接涌水点,另一端伸至4号集水井。用混凝土回填3号机尾水平平台处的3号集水井,仅预留一小坑作为临时集水井,在尾水闸墩内预埋2根带闸阀排水管向外抽排。覆盖3号机与尾水交界的斜坡段混凝土时,由于基坑内外水头相差约25 m,为防止闸阀关闭后,混凝土产生抬动破坏^[3],经计算混凝土最小厚度必须大于1.5 m,同时采用锚杆进行加固处理。在浇筑4号机主机段基础前,在4号集水井上铺设钢梁、钢模板,形成盖板,同时在盖板上预留4个灌浆管路系统、通气管和集水井抽水孔。待以上混凝土浇筑覆盖完成后,2、3、4号集水井进行闸阀试关水,检验厂房及闸坝基岩有无渗水。通过检查,将冒水点进行覆盖。在闸坝处的岩溶通道上造150 mm的大口径钻孔,打开4号集水井闸阀,自钻孔内先投入砂砾石,利用水头差及厂房与闸坝岩溶管道的连通性,使砂砾石在岩溶通道中运移,将预埋排水管充填。4号集水井正式关闭闸阀后,立即清理集水井内淤积的灌浆水泥结块和砂砾石渣等,并对水池墙壁凿毛处理,埋设接缝灌浆管路,用膨胀混凝土回填。对各预埋灌

浆管进行充填灌浆。在 3 号闸阀打开情况下,对溢流闸坝 2 号集水井进行混凝土覆盖,最后关闭 3 号集水井闸阀。渗流梯次引排减压示意图 5。

在大坝 F_{28} 断层下游及厂房两处涌水点附近设置多级不同高程的集水井,将基坑中的主要涌水引至这几个集水井中集中向外抽排,集水井引水管的末端设置闸阀,使基坑内无序的涌水变成了可控的水流,保证基坑能够正常开挖及混凝土浇筑。通过在集水井顶部加盖钢板等结构处理,将各集水井均封闭于基础混凝土以下。待基础混凝土全部浇筑完成并浇至一定厚度,且经过计算,确认关闭闸阀不致引起基础混凝土抬动破坏后,按自下而上的顺序依次关闭各集水井的闸阀,将岩溶水全部封闭在基础混凝土以下的岩溶通道中。在关闸初期,可以通过控制关闸顺序,保持岩溶通道中的水仍呈流动状态,同时在大坝上游的岩溶通道方向上钻孔并向孔内投掷砂、砾石等粗骨料,使砂、砾石能够随着水流移动而逐渐充填坝基及厂房基础下部较大的岩溶洞穴。待所有集水井闸阀全部关闭后,基础下部较大的岩溶通道已基本被投掷的砂砾石充满,封闭于岩溶通道中的水也成了相对的静态水,这时按常规方法对厂房及大坝基础进行固结灌浆及帷幕灌浆,浆液无浪费、效果好、耗时短,能有效控制质量。

3.3 效果分析

通过采取以上处理措施,成功解决了株溪口水电站一期基坑强岩溶涌水对工程造成的不利影响。2007 年 4 月,已全部完成了一期施工基础混凝土浇筑,随后完全关闭闸阀,按常规方法对大坝帷幕及岩溶管道进行了充填固结灌浆,灌浆过程中未出现浆液流失现象。待大坝和岩溶通道的帷幕及充填固结灌浆完成后,再打开各集水井的闸阀检验,各闸阀均无水流出,说明大坝帷幕及固结灌浆效果良好。在此基础上,建设各方迅速补回了前期因基坑涌水而延误的工期,如期完成了一期工程建设目标。

由此可见,通过采取多级集水井结合混凝土压盖技术,不仅能成功解决了大流量涌水基坑浇注混凝土和灌浆施工技术难题,而且对施工的影响较小,处理效果好。

2007 年 11 月 10 日,株溪口水电站一期工程通过水下工程验收并正式过流,工程运行多年来,一直处于

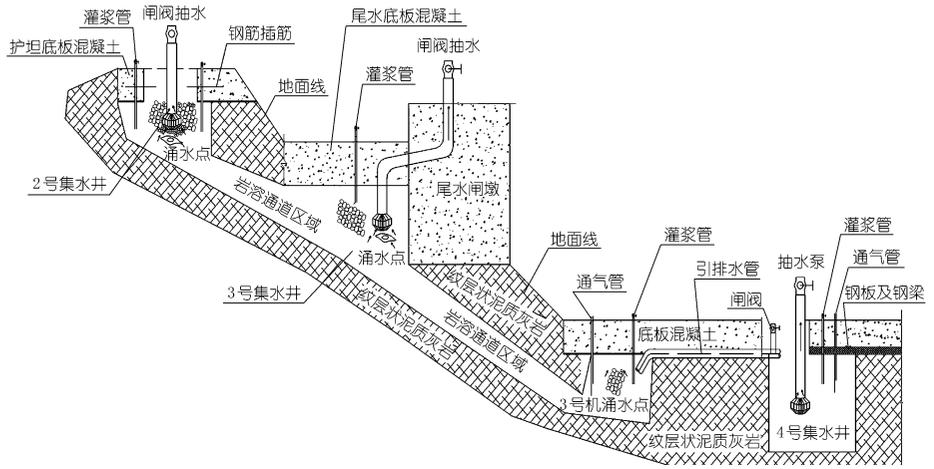


图 5 渗流梯次引排减压示意

正常状态,工程区埋设的各变形计及流量计监测到的数据均未见异常,也说明株溪口水电站处理岩溶涌水措施得当、效果良好。

4 结语

岩溶涌水对水电站工程建设危害大,处理困难,没有统一的解决办法,只有在掌握了岩溶规律的基础上,通过细致的地质论证,才能有针对性地提出有效的处理措施。株溪口水电站一期基坑出现强岩溶涌水问题后,曾采取常规的堵漏灌浆方法进行堵漏处理,前后共耗时近 6 个月,灌注水泥量约 9 700 t,但仍未达到预期的处理效果,经反复论证分析,最后采用“在各涌水点设立多级集水井及多级闸阀,渗流梯次引排减压结合混凝土压盖封闭”技术,成功解决了大流量涌水基坑浇注混凝土和灌浆施工技术难题。该技术为处理类似强岩溶涌水问题提供了新的方法和思路。

参考文献:

- [1] 王小玲,李择卫.株溪口水电站一期基坑强岩溶涌水分析及处理[J].湖南水利水电,2012,(2):3-5.
- [2] 邹成杰.水利水电岩溶工程地质[M].北京:水利电力出版社,1994.
- [3] 黄伯瑜.岩溶地基稳定性评价与工程处理[J].勘察科学与技术,1998,(3):1-6.

(编辑:赵凤超)

(下转第 63 页)



- 研究[J]. 地球物理学报, 1975, (1): 26 - 38.
- [3] 赵明阶, 吴德伦. 单轴加载条件下岩石声学参数与应力的关系研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(1): 50 - 54.
- [4] 赵明阶, 吴德伦. 单轴受荷条件下岩石的声学特性模型与实验研究[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(5): 540 - 545.
- [5] 李海波, 吴绵拔. 龙门石窟文物区岩体波动测试与分析[J]. 岩土力学, 1995, 16(3): 43 - 48.
- [6] 张培源, 张晓敏, 汪天庚. 岩石弹性模量与弹性波速的关系[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(6): 785 - 788.
- [7] 刘洋, 赵明阶. 超声波预测岩石强度的一种方法[J]. 西部探矿工程, 2006, (7): 17 - 19.
- [8] 赵明阶, 徐蓉. 岩石损伤特性与强度的超声波速研究[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(6): 720 - 722.
- [9] 史瑾瑾, 郭学彬, 肖正学, 等. 岩石冲击损伤特性与超声波速的实验研究[J]. 矿业研究与开发, 2005, 25(6): 27 - 29.
- [10] 赵明阶, 徐蓉. 岩石声学特性研究现状及展望[J]. 重庆交通学院学报, 2000, 19(2): 79 - 85.
- [11] 梁昌玉, 李晓. 岩石静态和准动态加载应变率的界限值研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(6): 1156 - 1161.

(编辑: 郑毅)

Experimental study on wave velocity variation of rock - like material under quasi - dynamic uniaxial compression

HUANG Xiaocheng, LI Haibo, XIA Xiang, WANG Miao, SONG Quanjie

(State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Science, Wuhan 430071, China)

Abstract: The relationship between the stress state and longitudinal wave velocity of gypsum samples under quasi - dynamic uniaxial compression was studied through laboratory experiment. The vertical and horizontal sonic tests under axial loads of the gypsum samples were carried out respectively. The results show that the characteristics of stress and sound - velocity of low - strength gypsum samples are obvious under uniaxial quasi - dynamic load. The curve after the peak can be divided into four stages, and the velocity variation of each stage is in a good consistency with the damage phenomenon of rock in loading process as well as the variation of stress - strain curve. Moreover, the relationship between stress and wave velocity shows the similar law at the axial and transversal direction. The stress that is up to the 60% to 80% of the compressive strength can be specified as the damage threshold of the gypsum sample, meanwhile, from perspective of the stress - strain curve, the damage threshold appears at the transition from elastic deformation to plastic deformation.

Key words: uniaxial compression; gypsum sample; sound velocity; damage threshold; rock - like material

(上接第 23 页)

Karst water gushing treatment using combination of multi - level drainage wells and concrete coverage

LI Zewei, WANG Xiaoling

(Hunan Hydro & Power Design Institute, Changsha 410007, China)

Abstract: Treatment of karst water gushing in hydropower construction in a strong karst area is an exhausting process requiring huge manpower and material resources, and usually becomes a difficulty for construction parties. In stage I excavation of foundation pit of Zhuxikou Hydropower Station located in a strong karst area, large - scaled foundation water gushing happened, and the traditional treatment measure of water sealing and grouting failed, resulting in lag of construction. For solving concrete pouring and grouting construction in the foundation pit with large water gushing flow, the following measures were adopted: multi - level drainage wells and valves were arranged at the water gushing points, and pervious water was drained in a stepwise way to reduce pressure for concrete grouting. The exploration for treatment of karst water gushing has succeeded, thus providing reference values for other projects.

Key words: karst water gushing; water collecting well; concrete coverage; Zhuxikou Hydropower Station