

# 锦屏二级水电站隧洞群施工期地下水运移、影响及控制研究

任旭华<sup>1</sup>, 束加庆<sup>1</sup>, 单冶钢<sup>2</sup>, 刘 勇<sup>1</sup>

(1. 河海大学 水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 中国水电工程顾问集团 华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

**摘要:** 富水区修建深埋长隧洞必然会破坏原有地下水系的平衡, 进而对施工和周边水文地质环境产生不利影响。隧洞群开挖过程中, 地下水的运移、影响及隧洞涌水量等研究是一个受多种因素影响的复杂的三维问题, 依托锦屏二级水电站引水隧洞群工程, 研究隧洞施工过程中山体内部地下水的运移情况, 将目前进度下的分析结果和实际监测到的结果进行对比, 验证了分析方法和结果的可靠性, 在此基础上预测隧洞群贯通后地下水的分布状态, 并分析其对工程区内的两大泉(磨房沟和老庄子泉)及当地居民生活用水的影响, 进而研究并提出锦屏隧洞施工涌水的控制措施和控制标准, 为设计、施工提供参考依据。

**关键词:** 水文地质; 地下水运移; 涌水控制; 数值模拟; 地质预报

**中图分类号:** P 641

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2009)增 1 - 2891 - 07

## RESEARCH ON GROUNDWATER TRANSPORT, INFLUENCE AND CONTROL IN TUNNELGROUP OF JINPING II HYDROPOWER STATION DURING CONSTRUCTION

REN Xuhua<sup>1</sup>, SHU Jiaqing<sup>1</sup>, SHAN Zhigang<sup>2</sup>, LIU Yong<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy of Hydro-power Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China;  
2. East China Investigation and Design Institute, China Hydropower Engineering Consulting Group Co., Hangzhou, Zhejiang 310014, China)

**Abstract:** It is inevitable that the building of long deep-buried tunnels in water-enriched area will destroy the original balance of groundwater, which will have negative effects on construction and hydrogeological environment nearby. Water transport in mountain and its influence as well as water inflow into tunnels during excavation are complex three-dimensional(3D) problems influenced by a number of factors. Taking Jinping II hydropower station for example, the transport of groundwater in mountain rock during construction period has been studied. A comparison between the calculated results and the observed data under present circumstances indicates that the method and results are satisfactory, and then the distribution of groundwater after excavation is studied as well as its influence on the two springs(Mofanggou and Laozhangzi springs) nearby and domestic water of local people in construction area. Furthermore, control measures and criteria of water inflow in tunnels are proposed for design and construction.

**Key words:** hydrogeology; groundwater transport; water inflow control; numerical simulation; geological forecasting

**收稿日期:** 2008 - 04 - 01; **修回日期:** 2008 - 05 - 24

**基金项目:** 江苏省 2007 年度普通高校研究生科研创新计划资助项目(CX07B\_133Z)

**作者简介:** 任旭华(1963 -), 男, 博士, 1984 年毕业于华东水利学院水利水电工程建筑专业, 现任教授、博士生导师, 主要从事水工结构工程、地下工程等方面的教学与研究工作。E-mail: renxh@hhu.edu.cn

# 1 引言

深埋长隧洞工程修建过程中，需要面对一系列重大技术难题<sup>[1~5]</sup>，其中一个重要难点就是，在高压富水区如何安全、可靠地进行隧洞施工。一方面是如何使隧洞在施工和运行过程中不受或少受高压地下水的影响，即如何保证施工的安全顺利进行；另一方面是如何减少隧洞施工对工程区域内地下水的影响，即如何保证工程区域内的水文地质环境不受或少受施工过程的影响。

锦屏隧洞群埋深大(最大埋深超过 2 500 m)、长度大(约 17 km)、地下水位高(洞轴线上最大外水压力达到 11 MPa)，在施工过程中将不可避免的面临高外水压力、大涌水量的难题<sup>[6]</sup>。先期施工的锦屏辅助洞在开挖过程中已经揭露的最大单点出水量达到 7.3 m<sup>3</sup>/s，总出水量达到 9.5 m<sup>3</sup>/s。工程区内的两大泉(磨房沟泉和老庄子泉)分别于 2006 年 3 月 23 和 29 日发生断流，部分沟谷水也相继发生干枯，已经对工程区的环境水文地质产生了较大的影响。因此，结合施工顺序、进度等实际资料，开展隧洞群施工期地下水运移模拟，分析其对周边水文地质环境的影响，并提出相应的治理措施和标准是锦屏二级水电站工程顺利进行的基础，也将为国内外类似工程提供参考和指导依据，具有重要的学术研究和工程实用价值。

# 2 工程区水文地质与工程地质

工程区属裸露型深切河间高山峡谷岩溶区，主

要接受大气降水补给。岩溶化地层和非岩溶化地层呈 NNE 走向分布于河间地块，其可溶岩地层主要分布于锦屏山中部，而非可溶岩分布于东西两侧。受 NNE 向主构造线与横向(NNW, NEE)扭 - 张扭性断裂交叉网络的影响，构成了河间地块地下水的集水和导水网络。工程区岩溶发育总体微弱，不存在层状的岩溶系统。在高程 2 000 m 以下，岩溶发育较弱并以垂直系统为主，深部岩溶以 NEE, NW 向的构造裂隙及其交汇带被溶蚀扩大的溶蚀裂隙为主。在引水隧洞高程(1 600 m)附近的岩溶形态以溶蚀裂隙为主，溶洞很少，且规模不大。隧洞沿线围岩均由三叠系地层组成，岩性主要为大理岩、灰岩、砂岩、板岩及少量泥岩。II, III 类围岩为主，占 90% 以上，详见图 1。

# 3 计算模型及边界条件

工程区内岩溶发育较弱，至雅砻江谷底高程仅发育连续性差的溶蚀裂隙型岩溶，不存在沿河谷两岸具有水力联系的岩溶系统。雅砻江大河湾内的地块除大气降雨和降雪补给以外，无其他水流补给，是相对独立的水文地质环境。因此，可将整个大河湾作为地下水分析的计算范围。计算模型 X 向为 EW 向，分别以东、西雅砻江河床中心线为界，在坐标系上的范围为 0~37 km，模型最大宽度为 21.5 km；Y 向为 SN 方向，考虑到自然地形、工程地质条件，南边界取至距沃底泉 7 km 处，北部取至锦屏山大河湾最北端，最大宽度约 80 km；Z 向从山体表面向下取至海平面高程，最大埋深约 4 500 m。根据岩溶水文地质资料，对计算范围内的岩体进行分区，

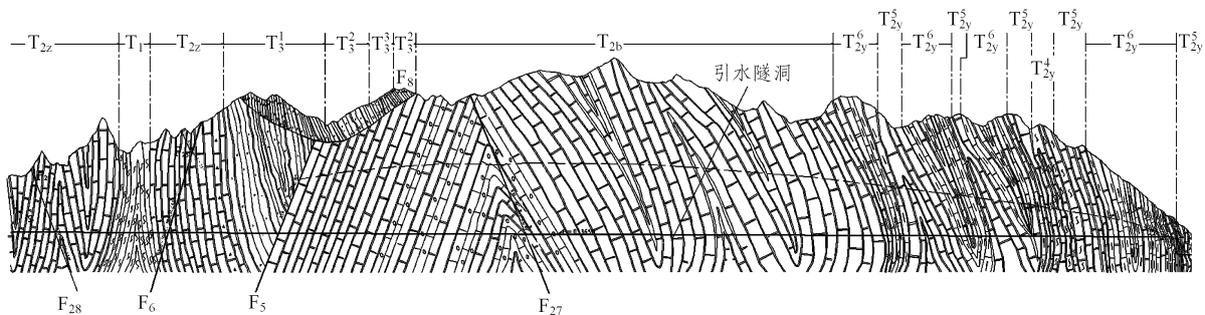


图 1 引水隧洞工程地质剖面图  
Fig.1 Geological profile of diversion tunnel

并对 F<sub>6</sub>, F<sub>5</sub>, F<sub>10</sub>, F<sub>4</sub> 等几个规模较大的断层、岩脉进行模拟。几何模型如图 2 所示。

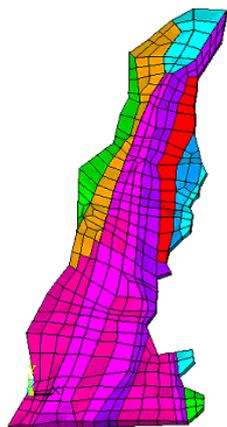


图 2 锦屏山几何模型

Fig.2 Geometric model of Jinping mountain

模型东、西、北边界为雅砻江河岸, 取为第一类边界即定水头边界, 根据各水文站点的实测水头值和水力比降推算得到边界上的具体水头值; 模型的南边界因缺乏观测资料, 且距隧洞及两大泉域较远, 因此取为隔水边界; 底边界取也作为隔水边界; 山体表面按入渗边界计算。不同介质的入渗系数及渗透系数见表 1。

表 1 不同介质的入渗系数及渗透系数

Table 1 Infiltration coefficients and permeabilities of different media

介质	入渗系数	渗透系数/(m · s <sup>-1</sup> )
P <sub>1</sub>	0.350	4.63 × 10 <sup>-7</sup>
T <sub>2y</sub>	0.350	4.63 × 10 <sup>-7</sup>
P <sub>2</sub>	0.150	4.63 × 10 <sup>-7</sup>
C <sub>2h+3m</sub>	0.408	4.63 × 10 <sup>-7</sup>
T <sub>3</sub>	0.150	9.26 × 10 <sup>-8</sup>
T <sub>1</sub>	0.150	9.26 × 10 <sup>-8</sup>
T <sub>2z</sub>	0.380	4.63 × 10 <sup>-7</sup>
T <sub>2b</sub>	0.462	4.63 × 10 <sup>-7</sup>
断层	0.380	6.94 × 10 <sup>-5</sup>
磨房沟泉域岩体	0.485	4.63 × 10 <sup>-7</sup>
老庄子泉域岩体	0.408	4.63 × 10 <sup>-7</sup>

### 4 工程区的初始渗流场

初始渗流场是对锦屏山体内部地下水初始状态 and 分布规律的客观描述, 是准确研究隧洞群施工期

地下水运移规律的前提。由于缺乏地下水位详尽的测量资料, 通过三维渗流有限元的方法来模拟。降水入渗过程是一个非常不稳定的过程, 在分析时要完全模拟这一过程难度较大。计算中不谋求对降雨入渗过程的精确模拟, 而是将降雨入渗效果看作为维持初始渗流场的稳定的因素<sup>[7]</sup>, 用等效入渗率来代表极不恒定的降水入渗过程。根据多年统计资料回归可以得到降水的高山效应公式  $y = 0.236 3x + 733.69$  (其中,  $x$  为高程,  $y$  为降雨量) 及实际划分的计算单元, 结合对应的入渗系数可以得到等效入渗强度。

图 3 为沿隧洞轴线剖面方向(近 EW 向)初始渗流场等压力水头线图。渗流自由面等值线基本与由山体表面地形一致, 隧洞沿线水头值见表 2。结合表中数据, 可以计算出距离隧洞进口 8 610 m 处, 最高地下水位线高程为 2 645.6 m, 最大压力水头达到 1 000 m。在 PD1 洞线位置计算最大水压力 8.4 MPa 左右, 与高程为 1 350~1 400 m 的探洞 PD1 和 PD2 封堵测得的多年平均水压力 8.5 MPa 基本吻合(实测最大水压力 10.12 MPa)。

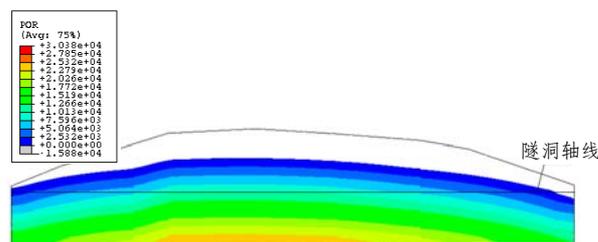


图 3 隧洞沿线初始渗流场等水头压力云图(单位: kPa)  
Fig.3 Nephogram of equal water head pressure of initial seepage field along axial line of tunnel(unit: kPa)

表 2 隧洞沿线位置水头值

Table 2 Water heads along axial line of tunnel

洞线进深/km	水头/m
0.000	1 658.0
1.450	1 924.5
3.500	2 396.4
8.610	2 645.6
8.880	2 588.4
10.900	2 435.2
13.460	2 235.7
17.870	1 396.0

注: 上游进口为起点。

### 5 地下水运移及其影响分析

#### 5.1 辅助洞目前进尺工况

截止 2007 年 6 月底, 东端 A, B 辅助洞进尺分别为 5.52 和 6.04 km, 西端 A, B 辅助洞分别为 7.90 和 7.91 km。通过三维渗流有限元计算, 南、北边界地下水有向工程区中部即隧洞轴线附近汇集的趋势(见图 4, 5)。辅助洞已开挖部分洞顶水位呈明显漏斗状急剧下降, 未开挖部分水位线也有所下降, 但不呈现明显漏斗状。此时, 辅助洞西端的降落漏斗影响范围约 10 km, 东端垂直隧洞轴线并经过磨房沟泉处断面的降落漏斗影响范围约 11 km。

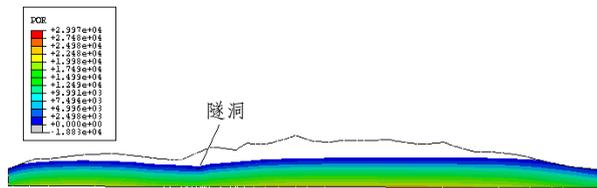


图 4 目前进尺条件下西端 3+850 断面渗流场等水头压力云图(单位: kPa)

Fig.4 Nephogram of equal water head pressure of seepage field along west section 3+850 under present circumstances(unit: kPa)

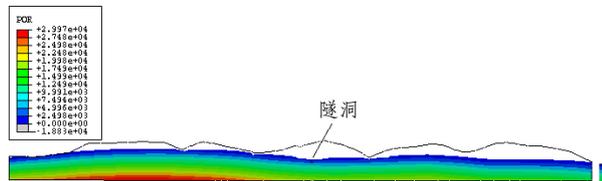


图 5 目前进尺条件下东端磨房沟泉断面渗流场等水头压力云图(单位: kPa)

Fig.5 Nephogram of equal water head pressure of seepage field along Mofanggou spring under present circumstances(east part)(unit: kPa)

根据辅助洞沟谷长期观测资料分析<sup>[8]</sup>, 目前东端影响范围北至磨房沟左支沟, 南至铜厂沟; 西端影响落水洞沟、牛圈坪沟、解放沟等附近, 影响范围在 15 km 以内, 与模拟结果接近, 说明文中采用的分析方法和结果是可靠的。

#### 5.2 隧洞群贯通工况

综合水文地质比拟法、水均衡法<sup>[8]</sup>及三维渗流有限元法分析, 2 条辅助洞、4 条引水隧洞、1 条排水洞全部贯通后, 预测总的涌水量将达到 32~36 m<sup>3</sup>/s(见表 3), 远远大于隧洞沿线磨房沟和老子子两

表 3 隧洞群涌水量预测表

洞号	西部(T <sub>2z</sub> )	中部(T <sub>2b</sub> )	东部(T <sub>2y</sub> )	合计
辅助洞 A	0.08	3.5	4.0	7.58
辅助洞 B	0.05	2.5	0.8	3.35
排水洞	0.60	2.5~3.5	1.8	4.90~5.90
1#引水隧洞	0.05	3.5~5.5	2.2	5.75~7.75
2#引水隧洞	0.05	3.0	1.2	4.25
3#引水隧洞	0.05	2.5	1.4	3.95
4#引水隧洞	0.05	1.5~3	0.8	2.35~3.85
合计	0.93	19~23.5	12.2	32.13~36.63

个泉域的多年平均总流量 8.72 m<sup>3</sup>/s, 势必会排泄大量锦屏山体内部的静水储量, 从而对周边水文地质环境产生重大影响。在该涌水量下, 两大泉全年干枯, 磨房沟电站无可用发电之水。

经三维有限元计算分析, 7 条隧洞全线贯通后, 南、北边界地下水向工程区中部汇集的趋势更加明显, 地下水位呈明显漏斗状急剧下降, 直至洞顶附近(见图 6, 7)。在垂直隧洞轴线并经过磨房沟泉处断面, 降落漏斗影响范围达到 19 km, 从而对泸宁泉泉域产生影响, 南部一直影响到沃底泉泉域附近。考虑到泸宁乡作为一个较大的居民点, 为保障附近居民的生活、生产用水, 需对隧洞涌水量及降落漏斗的影响范围加以控制。

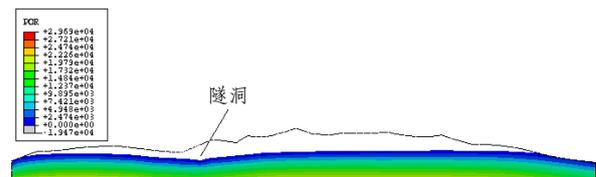


图 6 隧洞群贯通后西端 3+850 断面渗流场等水头压力云图(单位: kPa)

Fig.6 Nephogram of equal water head pressure of seepage field along west section 3+850 after excavation of tunnel group(west part)(unit: kPa)

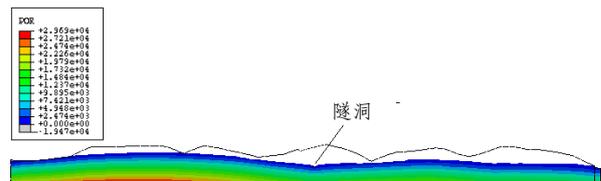


图 7 隧洞群贯通后东端磨房沟泉断面渗流场等水头压力云图(单位: kPa)

Fig.7 Nephogram of equal water head pressure of seepage field along Mofanggou spring after excavation of tunnel group(east part)(unit: kPa)

磨房沟和老庄子泉两大泉分水岭面积总和为： $192.55+97.00+32.00 = 321.55 \text{ km}^2$ ，两大泉域综合储水系数估算为 0.016，隧洞高程与地下水位之间按 800~1 000 m 计算，其储存的静水量为： $321.55 \times 0.016 \times (800 \sim 1000) \times 106 = 436\ 274.8 \sim 542\ 168.8 \text{ m}^3$ 。施工过程中按隧洞南侧不影响沃底泉泉域，北侧不影响泸宁泉泉域分析，其静水可排泄储量为  $88.18 \times 0.016 \times (400 \sim 500) \times 106 = 59\ 826.4 \sim 74\ 772.4 \text{ m}^3$ 。这里的 400~500 是考虑随着与隧洞轴线距离的增大，地下水位线下降值的折减。同时，由水均衡法及稳定渗流分析可知，隧洞群排泄的动水储量为 5~7  $\text{m}^3/\text{s}$ ，即排泄的静水储量为 25~31  $\text{m}^3/\text{s}$ ，由此可以计算出形成该漏斗的时间为 5 a 左右。

## 6 地下水控制措施及标准研究

由前述内容可知，隧洞群施工过程中，若不设防渗措施将对周围水文地质环境产生重大影响，同时也会影响到工程施工的进度和安全性。

根据先期 5 km 探洞和锦屏辅助洞施工积累经验<sup>[9]</sup>，对开挖撑子面前方潜在的富水带、突水点和突泥点进行有效超前地质预报<sup>[10]</sup>对指导施工，及时采取相应措施意义重大。采用宏观预报、长距离预报、短距离预报相互结合，相互印证的预报方法可以最大限度地保证预报的准确性。为尽量避免大流量涌水不利情况的出现，结合超前预报，在可能出现大涌水的局部地段采用超前预注浆(超前长导管预注浆或超前平导管预注浆，如图 8 所示)。对施工中揭示出的高压大流量管道集中出水点，灌浆材料直接注入到已发生大涌水的管道中起封堵作用非常困难，此时，应利用相邻洞室开挖横通洞，反向掘进贯通出水洞段，采取“分流、卸压”方案，然后再择机进行封堵<sup>[9]</sup>。因此，提出“预报在先，以堵为主、堵排结合”的治理原则，而对施工过程中揭示出的未能事先准确预报的涌水采用“快速掘进、择机封堵”的原则。

施作灌浆圈是防治隧洞工程突涌水的有效措施<sup>[11]</sup>，可以通过调整灌浆圈的灌浆深度和渗透系数控制隧洞的涌水量，并且可以不至于影响生态环境的小量排水达到降低甚至消除衬砌外水压力的目的。结合作者在工程预可研阶段的研究成果<sup>[1, 7, 12, 13]</sup>，选取 3 种不同治理标准进行比较研究(见表 4)。此

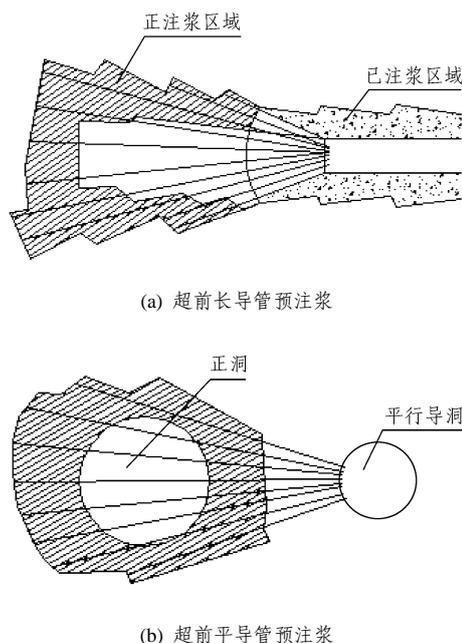


图 8 超前预注浆施工示意图

Fig.8 Sketch of foreordained grouting construction

表 4 计算方案

Table 4 Calculation schemes

方案编号	灌浆岩体渗透系数降低数量级	灌浆圈深度/m
1	1.5	10
2	1.0	15
3	1.5	15

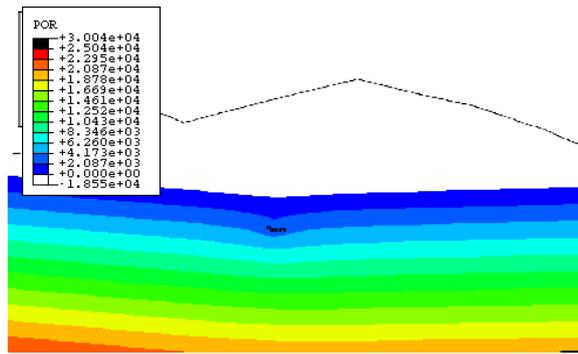
时，洞周为溢出边界。

计算结果表明方案 1, 2 均能保证老庄子泉域的泉水不会断流，但不能保证磨房沟泉水不会断流。方案 3 能保证两大泉域的泉水都不断流，同时降落漏斗的影响范围明显减小。图 9, 10 分别为采用方案 3 控制标准后垂直隧洞轴线并经过磨房沟泉截面的隧洞群周边地下水等压力水头分布图和锦屏山区地下水出露位置图，此时洞顶的最高水位约为 2 200 m。

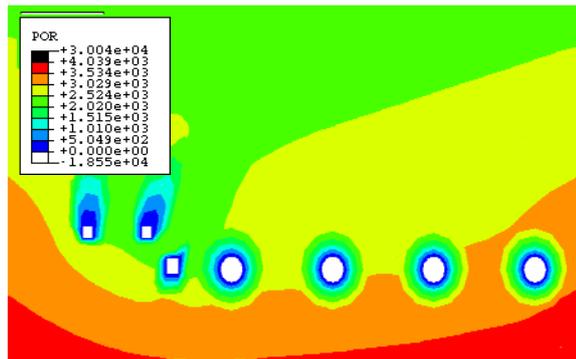
为了进一步论证分析隧洞不同排水量情况下对水文地质环境的影响，以期得到施工过程中控制涌水量的大小，对隧洞沿线(西、中、东)大理岩带不同涌水量情况下两大泉涌水量的变化进行分析(洞周为流量边界)。选取以下 3 种工况进行分析：

(1) 工况 1: 西、中、东段总涌水量分别为 1.16, 0.54 和 1.20  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

(2) 工况 2: 西、中、东段总涌水量分别为 0.8,



(a) 整体图



(b) 洞周局部放大图

图9 方案3灌浆封堵后磨房沟泉断面洞室周边等水头压力云图(单位: kPa)

Fig.9 Nephogram of equal water head pressure along section of Mofanggou spring after grouting in scheme 3 (unit: kPa)

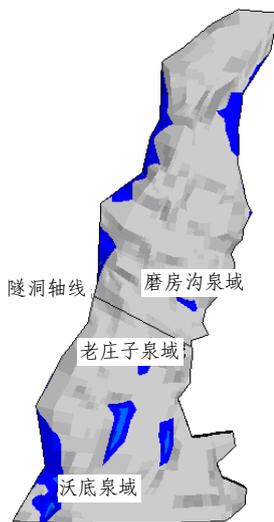


图10 方案3灌浆封堵后锦屏山地下水出露位置图

Fig.10 Appearance of groundwater in Jinping mountain after grouting in scheme 3

0.2 和 0.8 m<sup>3</sup>/s;

(3) 工况3: 西、中、东段总涌水量分别为 0.5, 0.1 和 0.5 m<sup>3</sup>/s。

天然状态下, 磨房沟泉的多年平均流量为 6.12

m<sup>3</sup>/s, 老庄子泉多年平均流量为 2.60 m<sup>3</sup>/s。计算结果如表 5 所示。

表 5 隧洞不同排水量下的泉水流量

Table 5 Spring discharge with variable tunnel water quantities

工况	磨房沟泉		老庄子泉	
	$Q_s/(m^3 \cdot s^{-1})$	$\alpha/\%$	$Q_s/(m^3 \cdot s^{-1})$	$\alpha/\%$
1	5.92	96.7	2.55	97.9
2	6.00	98.0	2.57	98.8
3	6.05	98.8	2.58	99.9

注:  $\alpha = Q_s/Q_0$ ,  $Q_0$  为泉多年平均流量,  $Q_s$  为施工封堵后不同排水量情况下泉的流量。

计算结果表明: 当对隧洞采取封堵和灌浆措施后, 排水总量控制在 2.9 m<sup>3</sup>/s 时, 对磨房沟和老庄子泉流量的影响甚小, 在 5% 以下; 排水总量控制在 1.1 m<sup>3</sup>/s 时, 对两大泉的泉水流量几乎没有影响, 可以恢复两大泉的流量。同时, 该结果与水均衡分析的结果<sup>[8]</sup>也基本吻合。

## 7 结 论

(1) 长探洞和辅助洞的施工揭示了锦屏山体地下水具有水位高, 流量大, 突发性强的特点, 给隧洞施工和支护带来了很大困难。施工中应充分重视地质预报工作的重要性, 在此基础上, 提出了“预报在先、以堵为主、堵排结合”的治水方针, 对未能准确预报而在施工过程中揭示出的高压大流量涌水应先分流、减压再封堵, 即“快速掘进、分流减压、择机封堵”的施工原则。

(2) 对锦屏二级水电站隧洞群施工期间地下水运移及影响的分析研究表明, 若不设置防渗措施, 隧洞群的施工必将对周围水文地质环境产生诸多不利影响, 如隧洞轴线附近的两大泉泉水断流, 磨房沟电站无可用发电之水, 附近居民生活生产用水无法保证等。建议采用灌浆堵水措施, 灌浆圈厚度为 15 m, 渗透系数降低 1.5 个数量级, 能保证施工安全、减小地下水产生的不利影响, 同时在施工工艺上也容易保证。

## 参考文献(References):

[1] 任旭华, 陈祥荣, 单治钢. 富水区深埋长隧洞工程的主要水问题及

- 对策[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(11): 1 924 - 1 929.(REN Xuhua, CHEN Xiangrong, SHAN Zhigang. Water problems and corresponding countering measures in projects of deep-lying long tunnels location in water-rich regions[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(11): 1 924 - 1 929.(in Chinese))
- [2] 黄润秋, 王贤能. 深埋隧道工程主要灾害地质问题分析[J]. 水文地质工程地质, 1998, 25(4): 21 - 24.(HUANG Runqiu, WANG Xianneng. Analysis of main geological disasters and problems in deep buried tunnel engineering[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1998, 25(4): 21 - 24.(in Chinese))
- [3] 杜小凯, 任青文, 夏宁. 高压引水隧洞若干问题的研究现状和存在问题[J]. 水力发电, 2007, 33(6): 65 - 68.(DU Xiaokai, REN Qingwen, XIA Ning. Status quo of the study on the several problems of high pressure diversion tunnel and its existing problems[J]. Water Power, 2007, 33(6): 65 - 68.(in Chinese))
- [4] MA S, IVARS D. Water inflow into excavations in fractured rock-a three-dimensional hydro-mechanical numerical study[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2006, 43(5): 705 - 725.
- [5] 姜云, 王兰生. 深埋长大公路隧道高地应力岩爆和岩溶突水问题及对策[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(9): 1 319 - 1 323.(JIANG Yun, WANG Lansheng. Problems of high stress rock burst and water outburst and countermeasures in deep-lying long tunnels[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(9): 1 319 - 1 323.(in Chinese))
- [6] 张继勋, 任旭华, 姜弘道, 等. 锦屏二级水电站引水隧洞主要工程地质问题分析[J]. 水利水电科学进展, 2006, 26(6): 66 - 70.(ZHANG Jixun, REN Xuhua, JIANG Hongdao, et al. Main geological problems in diversion tunnel construction at Jinping II waterpower station[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(6): 66 - 70.(in Chinese))
- [7] 任旭华, 王美芹, 王树洪, 等. 锦屏二级水电站深埋隧洞外水压力研究[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(4): 85 - 88.(REN Xuhua, WANG Meiqin, WANG Shuhong, et al. Study on the external water pressure of deep-buried tunnel in Jinping II hydropower station[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004, 31(4): 85 - 88.(in Chinese))
- [8] 周春宏, 单治钢, 李军, 等. 锦屏辅助洞(引水隧洞)施工期间涌水对水文地质影响研究专题报告(咨询本)[R]. 杭州: 中国水电工程顾问集团华东勘测设计研究院, 2007.(ZHOU Chunhong, SHAN Zhigang, LI Jun, et al. Special report of influence of water-gushing of Jinping diversion tunnel on hydro-geological environment during construction(for reference only)[R]. Hangzhou: East China Investigation and Design Institute, China Hydropower Engineering Consulting Group Co., 2007.(in Chinese))
- [9] 吴世勇, 王坚, 王鸽. 锦屏水电站辅助洞工程地下水及治理对策[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(10): 1 959 - 1 967.(WU Shiyong, WANG Jian, WANG Ge. Underground water and its treatment strategy in auxiliary tunnels of Jinping hydropower project[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(10): 1 959 - 1 967.(in Chinese))
- [10] 李术才, 李树忱, 张庆松, 等. 岩溶裂隙水与不良地质情况超前预报研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(2): 217 - 225.(LI Shucai, LI Shuchen, ZHANG Qingsong, et al. Forecast of karst-fractured groundwater and defective geological conditions[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(2): 217 - 225.(in Chinese))
- [11] 张成平, 张顶立, 王梦恕, 等. 高水压富水区隧道限排衬砌注浆圈合理参数研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(11): 2 270 - 2 276.(ZHANG Chengping, ZHANG Dingli, WANG Mengshu, et al. Study on appropriate parameters of grouting circle for tunnels with limit discharge lining high water pressure and water-enriched region[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(11): 2 270 - 2 276.(in Chinese))
- [12] 任旭华, 李同春, 陈祥荣. 锦屏二级水电站深埋引水隧洞衬砌及围岩结构分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 16 - 19.(REN Xuhua, LI Tongchun, CHEN Xiangrong. Structural analysis for the lining and surrounding rocks of diversion tunnel in Jinping II hydropower station[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(1): 16 - 19.(in Chinese))
- [13] 吴世勇, 任旭华, 陈祥荣, 等. 锦屏二级水电站引水隧洞围岩稳定分析及支护设计[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(20): 3 777 - 3 782.(WU Shiyong, REN Xuhua, CHEN Xiangrong, et al. Design for the liner and surrounding rocks of diversion tunnel in Jinping II hydropower station[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(20): 3 777 - 3 782.(in Chinese))