

塑造智慧变革

2018年海克斯康新产品新技术发布暨用户大会

HxGN Local Beijing 2018

2018年9月10日-12日 北京·国家会议中心

塑造智慧变革



HEXAGON

海克斯康



北京
国家会议中心

2018年

9月10-12日

2018.hexagonchina.com.cn

徕卡TM50在抽水蓄能电站施工控制网中的应用

刘东庆 专业总工 中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司

2018年9月

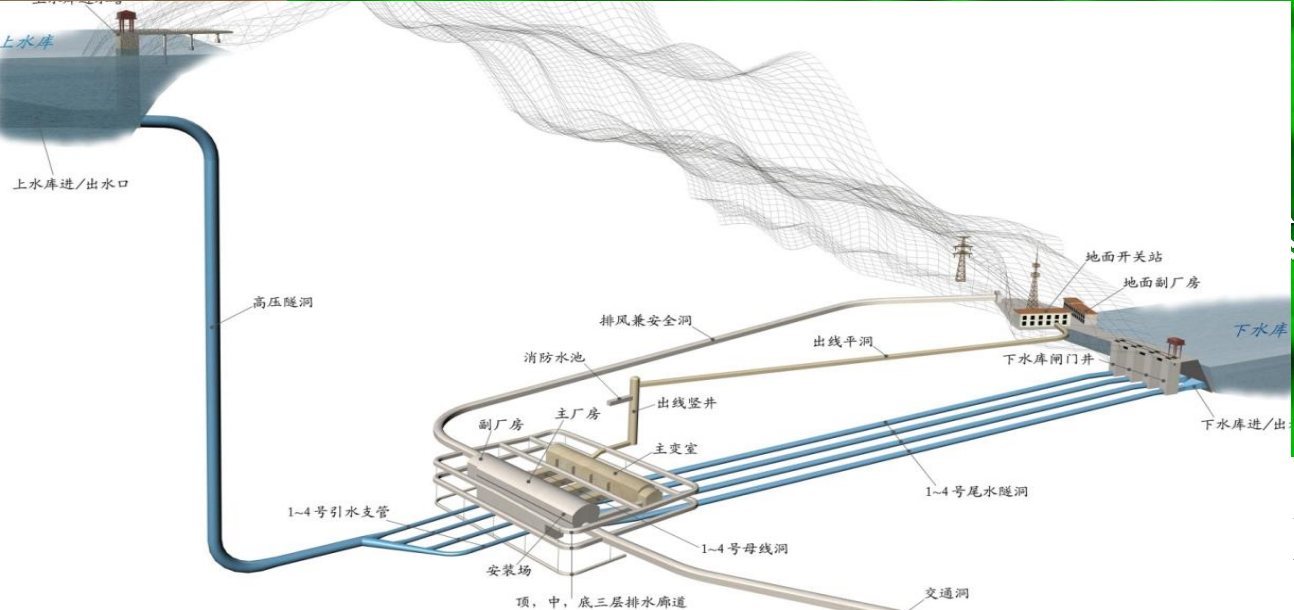
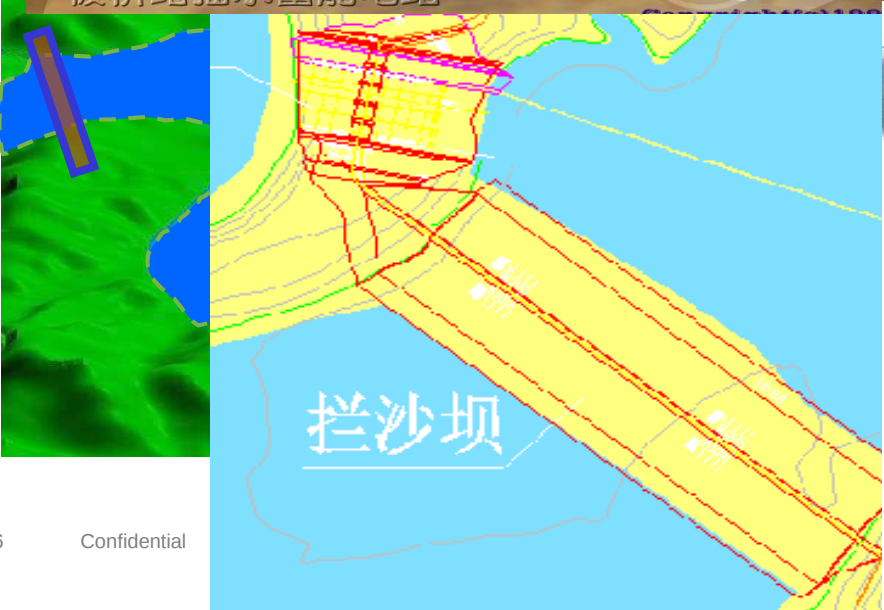
目 录

- 1 电站工程基本概况
- 2 地形特点及建网难点
- 3 技术思路与解决方法
- 4 施工控制网方案设计
- 5 外业实施及测量成果
- 6 项目实施小结

电站工程基本概况

- 该抽水蓄能电站为国家能源发展“十二五”规划建设重点项目，系在建的大型抽水蓄能电站，处于京津冀北电网核心位置，电站共分为两期建设，工程装机总容量超过300万千瓦，总投资规模超过100亿元人民币，为一等工程，大（1）型电站。
- 作为建成后目前世界装机容量最大的抽水蓄能电站之一，电站以两回500千伏线路接入华北电网，在系统中承担调峰、填谷、调频、调相和紧急事故备用任务，并可为系统提供大容量的储能服务，促进华北地区的风能、太阳能等可再生能源的大规模发展，对满足电网调峰需求，维护电网安全稳定运行，提高供电质量和电网运行的经济性，促进资源有效利用具有十分重要作用。

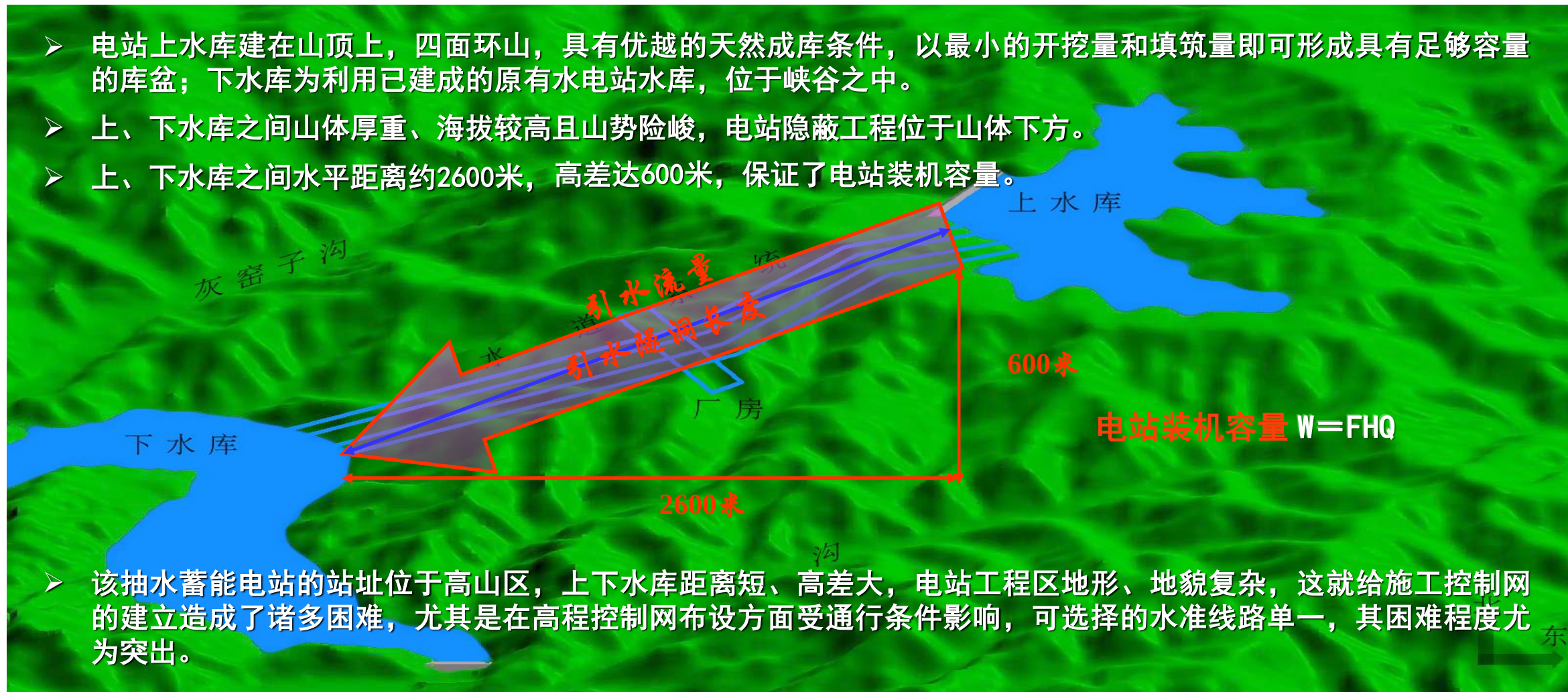
电站工程基本概况



系统、调北东

电站工程基本概况

- 电站上水库建在山顶上，四面环山，具有优越的天然成库条件，以最小的开挖量和填筑量即可形成具有足够容量的库盆；下水库为利用已建成的原有水电站水库，位于峡谷之中。
- 上、下水库之间山体厚重、海拔较高且山势险峻，电站隐蔽工程位于山体下方。
- 上、下水库之间水平距离约2600米，高差达600米，保证了电站装机容量。



- 该抽水蓄能电站的站址位于高山区，上下水库距离短、高差大，电站工程区地形、地貌复杂，这就给施工控制网的建立造成了诸多困难，尤其是在高程控制网布设方面受通行条件影响，可选择的水准线路单一，其困难程度尤为突出。

地形特点及建网难点

- 由于该蓄能电站地形环境条件的特殊性，采用常规布网方法，存在以下三方面难点：
1. 地形复杂，范围狭窄，山势陡峻，一些边无法通视，难以形成合乎要求的图形结构，致使图形强度过低，甚至有出现形亏的可能。
 2. 山体坡度过大，许多边的倾角超出规范规定，无法满足化算平距的精度要求，需采用几何水准直接进行高程联测，而局部区域地形陡峭无法通行，水准测量难以实施或实施异常困难。
 3. 上、下水库之间高差很大，相距水平距离较短，引测几何水准的线路选择困难，高程布网多数情况下只能沿一条路线绕行引测上山，成为支线水准，不能满足规范要求。即便能够形成一个闭合环线，通常绕行很远，而且上下都是沿坡度施测，可能产生的系统误差很难被发现，其高程的可靠性没有保证。

技术思路与解决方法

中国电力科学技术奖

获奖证书

获奖项目:抽水蓄能电站高精度三维施工控制网的研究

获奖等级:三等

获奖者:中国水电顾问集团北京勘测设计研究院

奖

中国电力科学技术奖

获奖证书

获奖项目:抽水蓄能电站高精度三维施工控制网的研究

获奖等级:三等

获奖者:中国水电顾问集团北京勘测设计研究院

奖励年度:2007年

发证机构:



中国电力科学技术奖励工作办公室

证书号: 2007-3-82-D01



网内外业一体化获

工程设计优秀软件

科学技术进步奖

获奖证书

项目:抽水蓄能电站高精度三维施工控制网的研究

级:一等

者:中国水电顾问集团北京勘测设计研究院

科学技术进步奖

获奖证书

获奖项目:抽水蓄能电站高精度三维施工控制网的研究

获奖等级:一等

获奖者:中国水电顾问集团北京勘测设计研究院

奖励年度:2006年度

发证机构:中国水电工程顾问集团公司

证书号: 2006-X011-D01

工程控制网内外业一体化获
国家第八届工程设计优秀软件

铜奖

全国优秀工程勘察设计评选委员会
二〇〇四年

奖

评选委



工程顾问集团公司

斯康

HEXAGON

技术思路与解决方法



技术思路与解决方法

三维建网的主要技术思路：

利用三角高程的大量多余观测来解决高程控制可靠性的问题。

加测GPS基线来解决布网图形和图形强度的问题。

采用三维布网方式和三维平差处理，避开边长化平的问题。

- 虽然在高差较大地区建立蓄能电站施工控制网存在诸多不利因素，但是在高差条件下，平面坐标和高程之间具有较强的相关性，而且高差越大这一特点越突出，可利用价值也越大。
- 由水平方向、天顶距、常规边、GPS基线、水准观测高差五种不同类型的观测量构成的三维网不仅能够解决平面坐标和高程的总体控制问题。而且运用三维平差手段直接处理各类观测量，其处理方式更为合理，既保证了观测精度不受损失，又使最后成果的可靠性和精度得以提高或改善。
- 目前我院三维网建立蓄能电站施工控制网的技术方法已日臻完善，并形成了完整的作业模式， 为该抽水蓄能电站施工控制网的建立奠定了雄厚的技术基础。

施工控制网方案设计

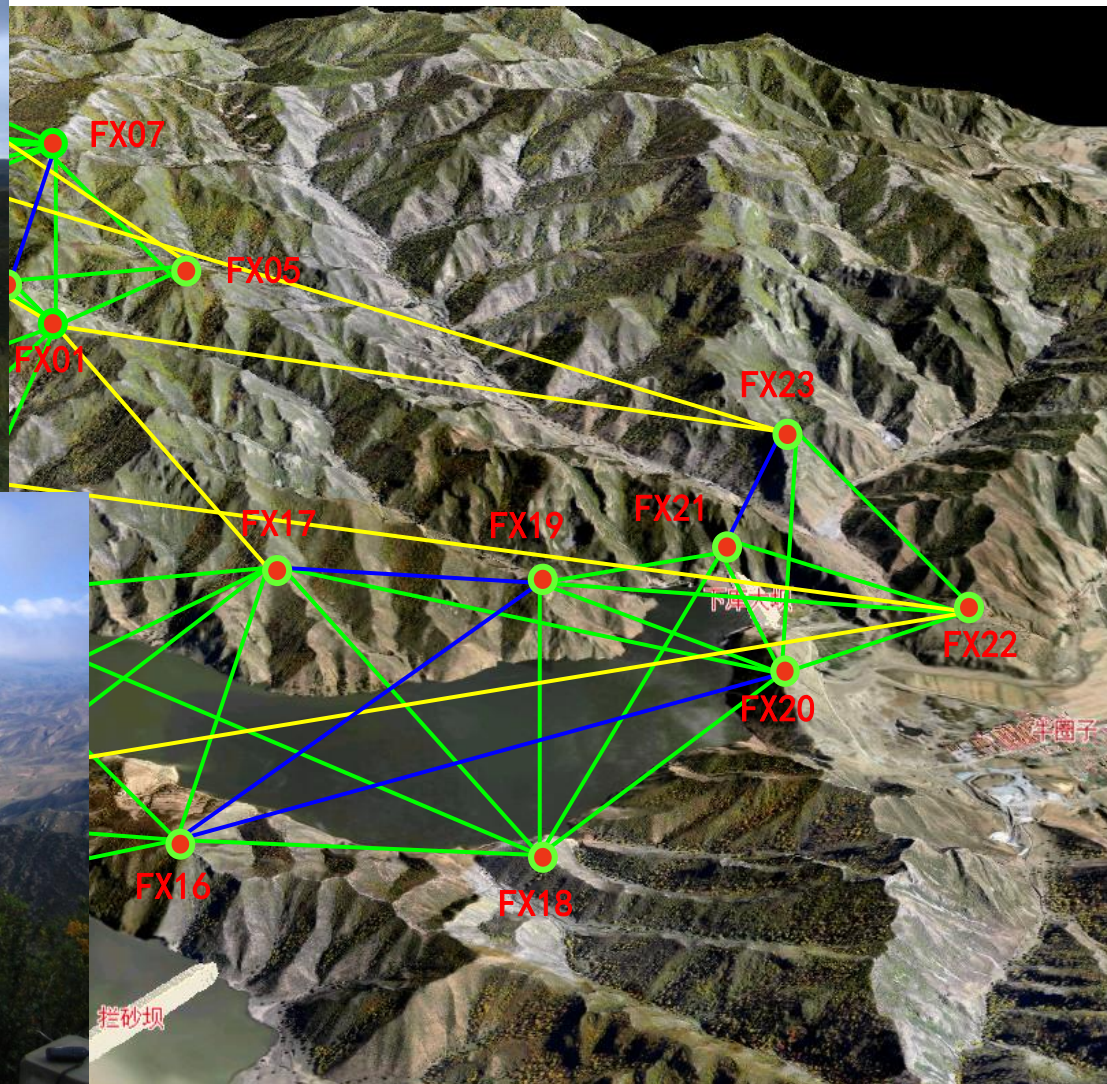
•精度设计:

- 由于该抽水蓄能电站各单项工程相对分散，且含有多个地下工程，施工控制网难以一次布设完成，顾及点位精度实现的可能性，方案设计时按同精度二级布网；依据规范的规定最末级平面控制点点位中误差应满足 $\leq \pm 10\text{mm}$ 的精度指标。作为电站工程首级控制，控制网的最弱点点位中误差应不大于 $\pm 7\text{mm}$ ，按同等精度加密的二级平面控制，仍能保证平面控制的精度指标满足规范要求。
- 同理首级高程控制网最弱点高程中误差不大于 $\pm 7\text{mm}$ 。

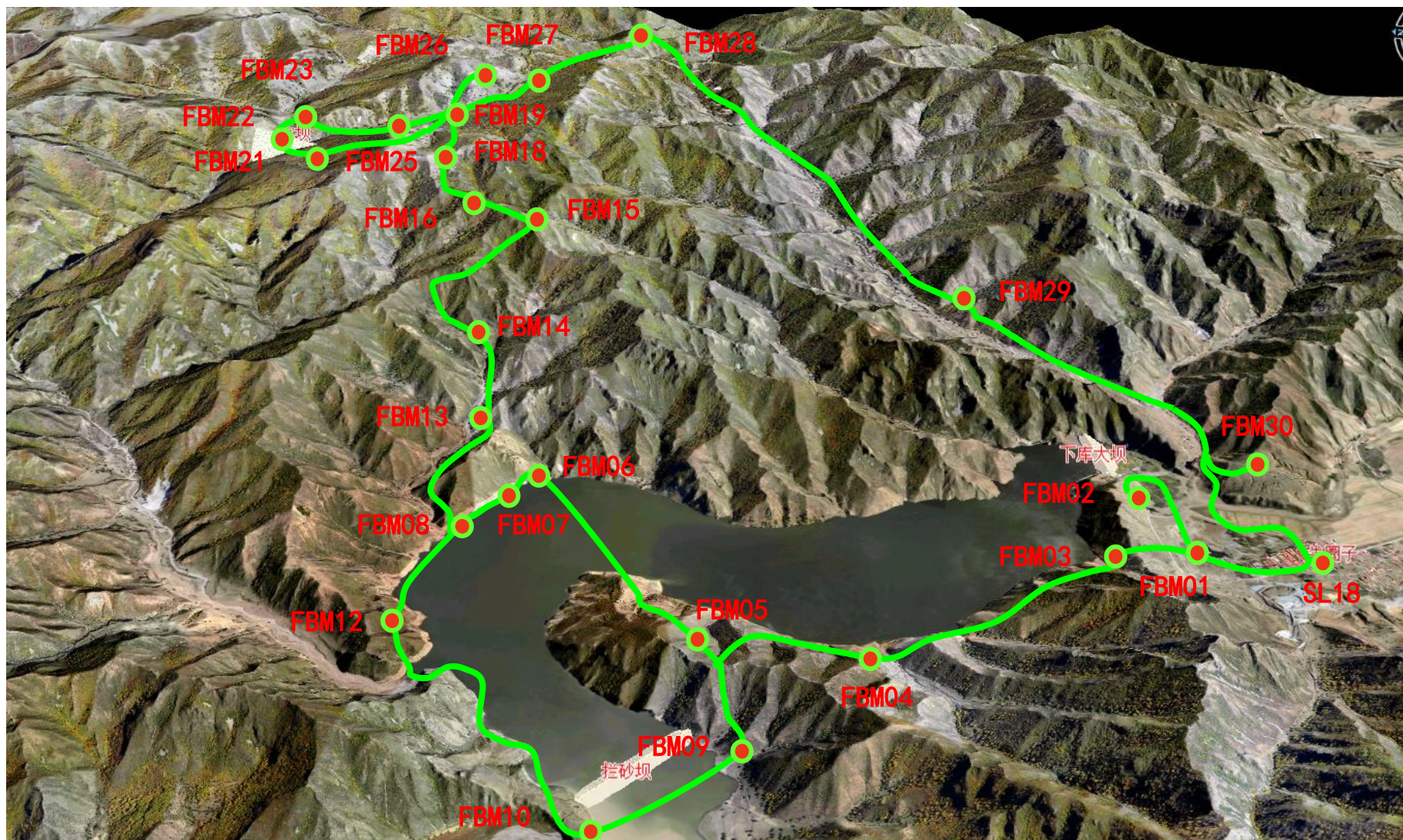
•网形设计:

- 依据站址地形条件及施工布置对测量控制的需求，进行图上选点，并组成网型；假定不同的观测等级及仪器设备精度，采用计算机模拟进行精度估算；通过精度估算结果的比较分析，在多种网型选择方案中，选择即满足设计精度要求又便于工程使用的网型，最终确定本次施工控制网布置如下。

施工控制网方案设计



施工控制网方案设计



施工控制网方案设计

● 精度估算:

- 施工控制网的精度估算选择中心点FX01作为起算点、FX01至FX02作为起算方向，以经典自由网平差方法进行精度估算。
- 采用的精度指为：水平角 $\pm 1.0''$ 、天顶距 $\pm 2.0''$ 、测距 $\pm (1\text{mm} + 1\text{ppm})$ 、GPS基线 $\pm (5\text{mm} + 1\text{ppm})$ 、水准高差 $\pm 1\text{mm}$ 进行精度估算，估算结果如下表：

最弱点点位中误差

点名	误差椭圆要素						点位误差			
	a(mm)	b(mm)	c(mm)	X(度)	Y(度)	Z(度)	M_x (mm)	M_y (mm)	M_p (mm)	M_z (mm)
FX13	6.40	1.26	1.72	42.603	47.397	89.904	4.86	4.52	6.63	1.26
FX17	2.95	1.42	2.21	74.803	15.637	86.403	1.58	2.87	3.27	2.22

- 从精度估算结果可以看出，最弱点平面点位中误差 $\pm 6.63\text{mm}$ ，最弱点高程中误差 $\pm 2.22\text{mm}$ ，均能满足设计精度要求。但是平面最弱点点位中误差已接近设计精度，没有精度储备，这就要求在外业观测时必须做好各项准备工作，严格执行设计与规范的各项技术规定。

施工控制网方案设计

•观测等级确认:

➢根据估算结果，本次施工控制网观测等级确定为：平面控制按二等精度要求实施，高程控制按二等水准精度要求实施。

•仪器选型:

➢常规水平角、天顶距和距离观测采用徕卡TM50 0.5" 全站仪及相应配套附件，该仪器技术指标：测角精度为 $\pm 0.5''$ ，测距精度 $\pm (0.6\text{mm} + 1\text{ppm})$ ；水准测量采用的仪器为徕卡DNA03数字水准仪，3m条码钢钢水准尺，其标称精度为 $\pm 0.3 \text{ mm / km}$ 。

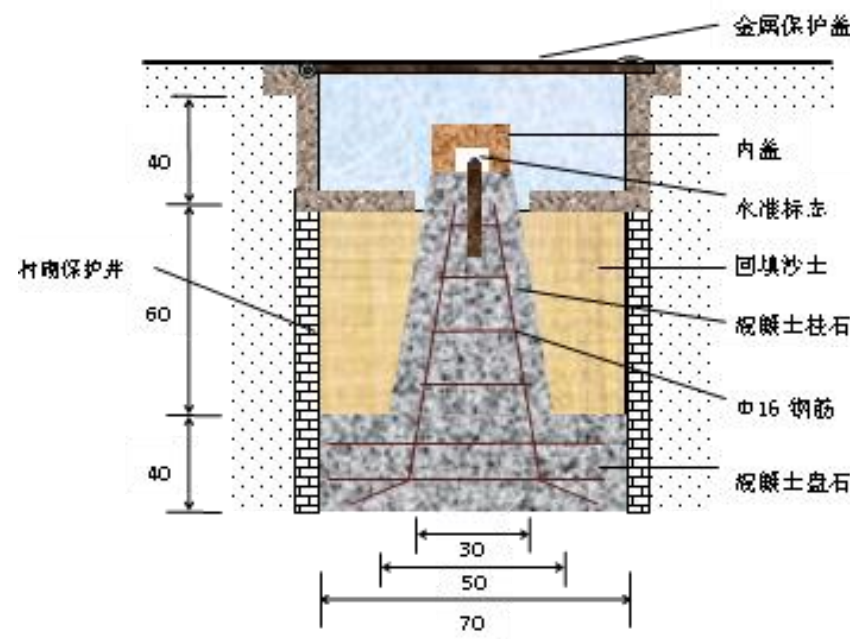
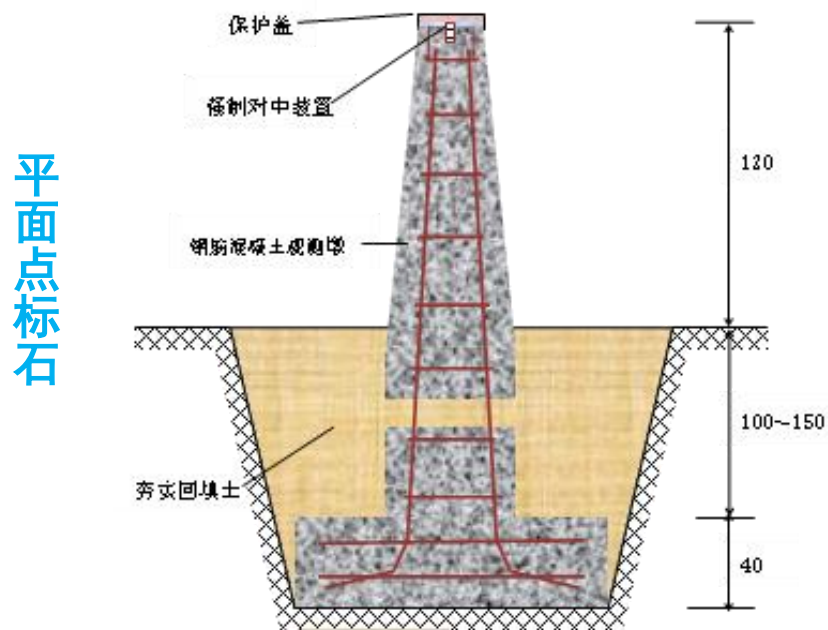


外业实施及测量成果

•外业实施:

➤该抽水蓄能电站施工控制网的外业选点及埋设工作于2012年7月下旬开始，至8月底结束；首次控制网外业观测工作于2012年9月完成。

• 点位埋设:



外业实施及测量成果

•施工控制网外业观测量统计：

各外业观测量

水平方向	天顶距	常规边长	GPS基线边	水准测段
104	104	104	48	69

•观测量精度统计：

水平方向观测精度

水平方向	三角形	闭合差最大	闭合差最小	菲列罗公式测角中误差
	38	3.07"	-0.07"	±0.92"

天顶距观测精度

天顶距	一测回观测中误差 最大	一测回观测中误差 最小	六测回中数中误差 最大	六测回中数中误差 最小
	±1.75"	±0.27"	±0.71"	±0.11"

外业实施及测量成果

水准测量观测精度

水准测量	设站数	线路长度	每公里偶然中误差
	3920	31.60 km	±0.878 mm

➤对常规边、GPS基线边进行精度分析；所有外业数据均满足设计及规范精度指标要求，可应用于平差计算。

•控制网首次测量平差后成果精度统计：

各类观测量中误差

方向精度	边长精度	天顶距精度	水准精度	GPS精度
0.84''	2.5mm	0.64''	2.71mm/ Km	4.59mm

平面最弱点点位中误差

点名	误差椭圆要素			点位误差		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)	Mx (mm)	My (mm)	M (mm)
FX13	6.36	1.64	2.30	4.58	4.71	6.57

外业实施及测量成果

平面点高程最弱点点位中误差

点名	点位误差 (mm)
FX23	2.96

可靠性计算成果

观测方法		多余观测分量		内可靠性		外可靠性	
		最小	平均	最大	平均	最大	平均
边角网	方向	0.3135	0.6573	6.8936	4.8337	5.7116	2.8398
	天顶距	0.5662	0.7557	5.1297	4.4550	3.3785	2.1958
	边长	0.5337	0.7970	5.1873	4.3518	3.4653	1.9366
水准	水准	0.9524	0.9751	3.9552	3.9092	0.8627	0.6065
GPS	GPS	0.6371	0.8462	4.8361	4.1529	2.9134	1.4624

➤从平差结果可以看出：按三维网平差处理得出的平面及高程最弱点点位中误差分别为 $\pm 6.57\text{mm}$ 和 $\pm 2.96\text{mm}$ ，满足技术设计 $M_p \leq \pm 7\text{mm}$ 的精度要求。并且具有较多的多余观测量，保证了工程施工控制网测量成果的可靠性。

外业实施及测量成果

➤ 2013年7月初至8月底对该蓄能电站施工控制网进行了复测工作。

•施工控制网复测的意义：

1. 受施工扰动、自然沉降及其它客观因素的影响，施工控制网网点存在点位变化的可能性，为及时掌握网点的稳定性态，规范要求工程施工控制网应定期复测。
2. 通过控制网复测对施工控制网点的点位稳定性做出分析判定。
3. 获得施工控制网网点的准确坐标成果，以保证工程施工过程中，应用测量控制的正确性。

•施工控制网复测的原则：

- 为便于建网与复测成果的对比分析，本次施工控制网复测严格执行建网时的技术设计方案及各项观测技术指标。
- 施工控制网复测采用的平面、高程系统以及投影面高度与建网时保持一致。
- 控制网复测网点构图、观测等级、使用仪器与建网时保持一致。
- 数据处理的平差方法及起算数据与建网时宜保持一致。

外业实施及测量成果

•控制网复测观测测量精度统计：

水平方向观测精度

水平方向	三角形	闭合差最大	闭合差最小	菲列罗公式测角中误差
	38	3.18''	-0.01''	±0.93''

天顶距观测精度

天顶距	一测回观测中误差最大	一测回观测中误差最小	六测回中数中误差最大	六测回中数中误差最小
	±1.70''	±0.23''	±0.69''	±0.09''

水准测量观测精度

水准测量	设站数	线路长度	每公里偶然中误差
	4776	38.52 km	±0.60 mm

➤对常规边、GPS基线边也进行了精度分析；所有外业数据均满足设计及规范精度要求，可应用于平差计算。

外业实施及测量成果

•控制网复测平差后成果统计:

各类观测量中误差

方向精度	边长精度	天顶距精度	水准精度	GPS精度
0.71"	1.98mm	0.58"	2.01mm/ Km	4.06mm

平面最弱点点位中误差

点名	误差椭圆要素			点位误差		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)	Mx (mm)	My (mm)	M (mm)
FX22	5.69	1.8	2.5	1.81	5.69	5.97

高程最弱点点位中误差

点名	点位误差 (mm)
FX23	2.78

外业实施及测量成果

可靠性计算成果

观测方法		多余观测分量		内可靠性		外可靠性	
		最小	平均	最大	平均	最大	平均
边角网	方向	0.3112	0.6597	6.9199	4.8247	5.7433	2.8248
	天顶距	0.5529	0.7492	5.1912	4.4744	3.4712	2.2353
	边长	0.5542	0.7943	5.1853	4.3591	3.4623	1.9537
水准	水准	0.9120	0.9603	3.9696	3.9396	1.1989	0.7659
GPS	GPS	0.5722	0.8864	5.1028	4.1158	3.3375	1.3463

➤从平差结果可以看出：工程施工控制网复测按三维平差获得的平面及高程最弱点点位中误差分别为 ±5.97mm和±2.78mm，满足控制网原技术设计提出的 $M_z \leq \pm 7\text{mm}$ 的精度要求。

外业实施及测量成果

•初、复测成果比较:

➤从控制网点建网和复测的坐标成果比较可以看出：各网点坐标虽存在不同程度的差异，依照施工控制网点的点位精度进行统计分析，网点坐标差值变化基本在观测误差范围以内，但受施工扰动及建网时点位埋设与观测时间相隔较短的影响，个别点位在两期观测之间存在点位变化。

➤两次观测坐标差异最大的点为FX13，位置变化9.89mm。按同样方法对高程成果进行了比较分析，两次观测高程变化最大的点仍为FX13，其变化值为14.1mm。顾及该点地质、地形条件及变化方位与实际现状基本相符。

点名	初测成果		复测成果		差值		
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔS (mm)
FX01	16882.8880	3949.7520	8844.7522	3.6	-0.2	3.59	
FX02	17151.6985	2558.0148	6982.0185	0.4	-3.7	3.72	
FX03	16802.8042	2456.1904	8031.1944	1.1	-4.0	4.17	
FX04	17440.3698	3316.1106	3687.1109	1.2	-0.2	1.22	
FX05	16801.2600	4473.9870	2563.9870	3.7	-0.1	3.67	
FX06	17204.0830	4105.6111	0806.6112	2.3	-0.1	2.34	
FX07	16995.8493	5369.6227	8464.6279	2.9	-5.2	5.92	
FX08	17330.3229	4680.5669	3229.5699	0.0	-2.9	2.94	
FX09	18189.6959	5436.4110	6972.4078	-1.3	3.2	3.44	
FX10	17737.0129	4452.6242	0128.6247	0.2	-0.5	0.52	
FX11	17873.5017	5680.4784	5039.4794	-2.2	-1.1	2.42	
FX12	18716.7664	5113.3549	7661.3461	0.3	8.8	8.84	
FX13	18767.3702	5839.6505	3776.6439	-7.4	6.6	9.89	
FX14	16996.5025	1284.7839	5059.7874	-3.5	-3.5	4.91	
FX15	16678.1186	0902.7878	1230.7901	-4.5	-2.2	4.99	
FX16	15965.1955	1212.5980	1986.5977	-3.2	0.3	3.17	
FX17	15644.2652	2373.6425	2673.6424	-2.1	0.1	2.14	
FX18	15030.5602	1371.6260	5635.6245	-3.3	1.5	3.63	
FX19	14847.5667	2742.0909	5668.0907	-0.2	0.2	0.28	
FX20	14303.4545	2439.6681	4533.6673	1.2	0.8	1.44	
FX21	14466.6541	3015.3492	6510.3482	3.0	1.0	3.20	
FX22	13780.3408	2803.4471	3401.4452	0.7	1.9	1.99	
FX23	14143.4655	3580.6509	4583.6519	7.2	-1.1	7.28	

项目实施小结

1. 采用三维布网形式建立抽水蓄能电站施工控制网，克服了电站上下库之间距离短、高差大、地形条件复杂的建网困难，应用效果说明设计方案合理，方法可行。
2. 依据实际地形环境条件并结合电站工程施工总体布置所确定的平面与高程控制点点位位置、标点数量及设计精度指标满足工程施工放样要求。
3. 外业各观测量精度统计结果表明，各项精度指标满足设计及行业规范要求，外业观测作业质量优秀。
4. 采用三维平差方法对五种不同类型观测量进行统一处理，方法合理，结果正确，保证了观测精度不受损失，最终成果的可靠性和精度得以改善。自行开发的平差处理软件功能完整，输出成果数据齐全、格式美观，便于成果的分析 and 审查。

项目实施小结

5. 该项目施工控制网提供的资料：技术设计报告、点之记、平差计算资料、测量技术总结报告、检查验收报告及控制网成果等内容，资料内容完整、详实。
6. 抽水蓄能电站施工控制网的建立采用的仪器设备先进，各项指标达到技术设计要求，点位分布及成果精度满足工程主体放样需要，最终测绘成果质量优良。

—— 谢 谢 ——

A decorative graphic at the bottom of the slide consisting of multiple nested chevrons pointing upwards. The chevrons are colored in a gradient of blues and greens, with the outermost being a light blue and the innermost being a dark green. The chevrons are arranged in a way that they appear to be layered on top of each other, creating a sense of depth and movement.



如果您对此篇PPT感兴趣，请扫描二维码
