

水利水电工程施工测量规范

SL 52—93

条文说明

前 言

《水利水电工程施工测量规范》SDJS9—85(以下简称“原规范”)是原水利电力部水利水电建设总局局标准,自1985年7月1日实施以来,对统一我国水利水电工程施工测量的操作和精度标准,推动测量技术进步,保证施工测量质量,起到了重要作用。近年来,由于新技术的发展和应用,原规范制定的技术依据已日显陈旧,难以反映当前测绘技术水平和现状,急需对原规范进行修订。

本规范的修订工作是在水利部建设开发司和原能源部水电开发司的主持下进行的。水利部建设开发司(90)建技便字第15号文同意修订编委会由周寿彭、荣燮阳、陈宗佩、何薪基、廖在义、韩效华、朱顺全、金本斌等8人组成,周寿彭任主编,荣燮阳、陈宗佩任副主编。本规范修订过程中,于1990年11月、1991年9月、1992年4月、1992年6月先后召开了四次编委会,讨论修订原则和大纲,按章节进行分工,提出规范修订征求意见稿,统稿和集体审校。并发送全国水利水电勘测、设计、施工单位和有关高等院校广泛征求意见,四易其稿形成规范(送审稿)。1992年11月24日在湖北宜昌召开了规范(送审稿)审查会,在此基础上对规范(送审稿)进一步修改完善后完成此稿。

本次修订中,对原规范作了如下主要修改和补充。

(1)规定了本规范的适用范围,对精度指标作了必要的调整。

(2)关于平面控制测量的控制网最末级控制点的相邻点位中误差改为相对于同级起始点或相邻高级点的点位中误差不应大于 $\pm 10\text{mm}$ ……,更改后点位中误差的基准为,对于一级布网是相对起始点的;而对于二级或多级布网是相对于高级点的。增加了适用于小型水利水电工程控制测量的有关规定。

(3)在高程控制测量中,增加了光电测距三角高程代替三、四、五等水准测量及过江水准测量的各项技术规定。

(4)在放样的准备与方法中,增加了边角后交的有关技术规定的内容。

(5)完善了开挖工程测量中对开挖轮廓点点位中误差的规定。补充了有关地面摄影测量方面的内容。

(6)在立模与填筑放样中,增加了对建筑物立模、填筑放样点检查的内容。

(7)增加了金属结构与机电设备安装测量精度指标的规定。

(8)在地下洞室测量中,改变了隧洞横向贯通误差的估算方法,增加了光电测距导线建立洞外控制的技术规格。

(9)在辅助工程测量中,对放样方法及技术要求进行了必要的增删。

(10)增加了渠堤施工测量的内容。

(11)增加了施工期间的外部变形监测内容。

(12)进一步完善了竣工测量项目、内容与技术要求。

河海大学章书寿教授为本规范修订工作的顾问,对编写工作作了重要指导。长江葛洲坝工程局侯家兴、张白丽同志参与了校对描绘工作。

本规范(送审稿)审查委员会主任为章书寿和赵全林同志。水利部建设开发司李允中、张严明同志参加了本规范修订大纲、送审稿和报批稿的修改和定稿工作。

1.0.1 本条指明了本规范适用的范围和所包含的基本内容。

小型水利水电工程如无法执行本规范某些条文时，应说明理由并提出相应执行措施，报主管部门审批后实施。

1.0.2 本条规定了施工测量的主要内容，明确了施工测量人员的职责，这对于加强测量人员的责任心是必要的。

1.0.3 精度评定的标准通常有以下三种：

(1)中误差 m 。

(2)平均误差 $\bar{\Delta}$ 。

(3)或然误差 P 。

在或然率理论中可以证明，当观测次数 n 趋于 ∞ 时，三种标准之间有如下的关系：

$$\begin{aligned}\xi &= 0.7979m \approx \frac{4}{5}m \\ P &= 0.6745m \approx \frac{2}{3}m\end{aligned}$$

即

$$m \approx \frac{5}{4}\xi \quad \xi \approx \frac{3}{2}P$$

以上三种标准，当观测次数 n 相当大时，用来评定精度是同样可靠的，但当 n 不大时，用中误差评定精度较可靠，因为它能明显地反映出测量中较大误差的影响。因此，本条规定“测量精度以中误差衡量”。

根据或然理论及有关文献多次实验的统计证明，大于两倍中误差的偶然误差出现的可能性约 5%；大于三倍中误差的偶然误差，其出现的可能性仅为 0.3%。在实际工作中，由于观测的次数不多，因此，本规范取中误差的两倍作为极限误差。

1.0.4 有关表 1.0.4 的简要说明。

(1)关于混凝土建筑物轮廓点的放样精度，目前国内外尚无统一标准，本表根据有关文献及各工程局多年来的实践，制定轮廓点放样精度(平面、高程中误差)为 $\pm 2 \sim \pm 3\text{cm}$ 。其根据是：

a.李青岳教授主编的《工程测量学》中指出：“坝墩中心线、水轮机轴线放样的精度要求约 $1 \sim 2\text{cm}$ ”。苏联刘茨编著《大型建筑物的放样》中指出：“坝墩轴线位置的纵横向误差 $1 \sim 2\text{cm}$ ，竖向 1cm ”。

b.根据已建工程的实际放样精度统计资料。

(2)有关土石料建筑物轮廓点放样精度，根据我国的实际情况规定为 $30 \sim 50\text{mm}$ 。

(3)土石方开挖轮廓点的放样精度。

a.根据《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》中规定的放样点中误差见表 1.0.4。

表 1.0.4 土石方开挖轮廓点的放样精度

项目	覆盖层	岩石
平面(mm)	250	100
高程(mm)	125	50

b.某些水工建筑物或重要部位有较密的钢筋网，钢筋保护层一般不得小于 5cm ，因此土石方开挖放样的轮廓点平面位置中误差，规定为 $50 \sim 200\text{mm}$ 。

(4)施工场地地形测量的精度指标。水利水电工程施工阶段地形测量的特点是面积小，

比例尺大，成图周期短。为了与《水利水电工程规划设计阶段测量规范》协调一致，故取地形测量的精度为：地物点位置中误差(限额以下)为 $0.75 \sim 1.00\text{mm}$ (图上)，高程注记点中误差为基本等高距的 $1/3$ 。

(5)金属结构与机电设备安装测量指标，是参考《水工建筑物金属结构制造、安装及验收规范》、《电力建设施工验收规范》结合施工测量的实际制订的。

(6)施工期间外部变形观测精度指标。施工期间外部变形观测是为保证施工安全而进行的临时性观测，它的标志埋设，观测方案都比较简单，以能发现危及安全的位移量为标准。因此，它的精度标准要比永久性的变形观测精度标准降低 $1 \sim 3$ 倍。本表就是参照有关规范并结合观测目的而制定的。

(7)隧洞贯通误差。水电部 1983 年颁布的《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》中规定：隧洞纵横向极限贯通误差，对于相向开挖长度小于 4km 的隧洞规定为 $\pm 0.1 \sim \pm 0.2\text{m}$ ；对于相向开挖长度大于 4km 的隧洞规定为 $\pm 0.15 \sim \pm 0.30\text{m}$ ；本规范取极限贯通误差的 $1/2$ 作为贯通中误差。

1.0.5 施工测量是在规划设计阶段已有的控制点及其他有关测绘资料的基础上进行的，因此强调施工测量阶段用的平面坐标及高程系统应与规划设计阶段相一致。同时指出结合施工需要可建立施工坐标系。其好处是：既方便施工单位对测量成果的使用，又能将建筑物设计数值与施工坐标有机的联系起来。

1.0.6 在大型水利水电工程施工区，各个主要建筑物之间的相对精度并不要求很高。但是，可能在某一个主要建筑物的内部(例如厂房施工区内各机组之间，机组与钢管之间)其相对精度要求过高。这时，可在该区建立一个相对高精度的专用网，而无需提高整个施工控制网的精度。本条规定的意义就在这里。

1.0.7 制定本条的目的在于：在满足本规范提出精度要求的前提下，大胆推广、应用新技术。

本条对新技术和新方法的采用，本着积极、慎重的态度。凡经过鉴定行之有效的好经验、新方法，如：光电测距等级导线、边角网、测边网、光电测距三角高程等均做了相应的规定。

1.0.8 施工测量中的记录，资料整理，仪器维护，缺乏标准化、规范化。记录涂改，手簿撕页，资料紊乱、丢失以及仪器安全事故等时有发生。制定本条的目的，在于引起测量队的领导和全体施工测量人员的注意。

2 平面控制测量

2.1 一般规定

2.1.2 根据 30 多年水利水电施工测量的实践，不同规模的工程，应该采用不同等级的施工控制网，以利于既满足施工放样的要求，又经济合理。

建国以来，我国百万千瓦以上的大型水电工程，如刘家峡、龙羊峡、葛洲坝、白山等，首级控制网都是按二等布设的。而百万千瓦以下的大、中型水电站工程，则大部分按三等网布设，对于中、小型工程，施工范围小，则可根据条件从简布置即可。

为了便于施工测量人员的选择，编制了表 2.1.2 以供参考。

对于特大型水利水电工程，由于工程规模巨大，施工范围广阔，可能需要多级布网，因而可适当提高首级网的等级，以利扩展。

2.1.3 关于平面控制网的精度标准问题。

本规范 2.1.3 规定“平面控制点相对于同级起算点或邻近高一级控制点的点位中误差不应大于 $\pm 10\text{mm}$ ”。

(1)点位中误差不大于±10mm的规定，根据何在?这里需说明两点。

a.根据大型水利水电工程 30 多年施工放样的经验，大坝、厂房等主体工程混凝土模板立模点，若从邻近的最末级控制点多次重复放样，其点位误差不大于±20mm 时，则将对混凝土体形和钢筋的安装不会造成明显的影响。

b.立模点的放样，一般是在轴线点(或测站点)上(即最末级控制点加密而得的点)进行。表 6.1.2 规定，各种主要混凝土建筑物轮廓点的平面位置误差不应大于±20mm。其中包含

起始数据误差和测量误差，即 $M = \pm\sqrt{m_A^2 + m_C^2} = \pm 20\text{mm}$ 。按李青岳教授所提供的公式推证：当起始数据误差 $m_A=0.5M$ 时， m_A 对点位中误差的影响约为 15%，基本上不起作用。因此，本规范规定最末级控制点的点位中误差不大于±0.5M=±10mm。

由于水利水电工程施工控制网的范围不大，控制面积一般不超过 5km²。如果将起始点放在控制网中央，则相对于起始点的点位中误差将明显减少。故本规范关于基本精度规格的规定是可以保证的。

为了保证上述点位精度，本规范要求布网的梯级不宜过多，一般为一级全面网，最多不超过二级，否则梯级过多，最末级控制点的点位不易保证。即使由于地形条件等原因，按二级布网时，也最好按同一精度观测，进行统一平差。

(2)点位中误差的基准在那里?(即相对于哪一组基准?)

关于点位中误差的基准问题，本规范 2.1.3 原规定“……其最末级控制点的相邻点位中误差，不应大于±10mm”，即相对于相邻点。

经 1992 年 4 月南京会议审查讨论后，决定改为：“平面控制点相对于同级起始点或邻近高级控制点的点位中误差不应大于±10mm……”。经过这样改动后，点位中误差的基准为：对于一级布网来讲，是相对于起始点的；而对于二级或多级布网来讲，是相对于高级点的。这样改变的理由是：

点位中误差的基准改为相时于起始点(包括起始方向，起始边长)后，可以限制施工控制网在一定的范围之内，以保证点位的相对高精度。否则，在当前普遍使用测距仪的条件下，边长测量精度高且均匀。在控制网的相当边远的地区，总可以找到一条相邻点位误差(不考虑方位基准的影响)不大于±10mm 的边。这样，边的两端点相对于起始点的点位误差，可能已大大超过±10mm。这样不利于施工放样。

对于水工隧洞地面控制网，因为它只是满足相邻洞口的贯通，因此仍然以“相邻洞口点”的点位中误差来衡量，其限值只要满足表 8.1.3 中横向贯通中误差的要求即可，不必要限制于±10mm。

由于点位中误差的基准改为相对于起始点(或相邻高级点)以后，起始点的位置与点位中误差的大小有关，因此 2.1.4 条规定：“首级平面控制网的起始点，应选在坝轴线或主要建筑物附近。以使最弱点远离坝轴线或放样精度要求较高的地区。”

2.1.6 水利水电工程施工控制网一般建立于施工初期，处在大规模开挖阶段。由于开挖爆破的影响以及河床开挖后的卸荷变形，会使两岸基岩岸坡产生不可忽视的位移。根据龙羊峡施工控制网多次复测的成果(见表 2.1.6)，证明复测是很必要的。

表 2.1.6 龙羊峡施工控制网部分点位坐标变化表

点名	点位基础	位置	坐标变化(mm)		移动方向
			X	Y	
网师园	基岩	左岸坝上 100m 靠河岸	-9.7	9.5	向河心
新栈东		左岸坝下 50m 靠河岸	-32.7	12.4	
沧浪亭		左岸坝下 100m 靠河岸	-27.0	4.2	
右坝头		左岸坝下 50m 靠河岸	20.0	-12	

复测不仅能表明三角点点位的变化，以保证放样的精度，而且可发现两岸基岩的稳定情况，为领导部门提供非常有用的资料，防止安全事故的发生。

2.2 技术设计

2.2.2 关于平面控制网的优化问题。

控制网的优化设计一般分为零类设计(参考系设计)、一类设计(图形设计)、二类设计(观测权的设计)、三类设计(网的改造设计)。对于水利水电平面控制网来讲，有以下特点：

(1)零类设计是非常明确的，这就是要使施工网的坐标系与勘测设计阶段的坐标系一致。起始数据采用勘测设计阶段一个点的坐标和一条边的方位角；采用经典自由网。

(2)由于水利水电平面控制网的作用，主要是为了方便施工放样，其点位一般要根据放样需要确定，而难以完全适应图形优化设计，因此一类优化设计，只能是在满足放样对点位要求的前提下，适当予以考虑。

(3)由于水利水电平面控制网的规模不大(一般不超过 20 个点)，其工作量也小，因此对于二类设计，也可不必过于讲究，一般可按等权进行观测。

我们认为水利水电平面控制网的优化要求，就是在方便放样的前提下，尽量加强图形强度(如加对角线等)，提高观测元素的精度，使网的点位误差减小到理想的水平。因此本规范提出的优化要求只是一般性的要求，不要求达到理论上的最优。

2.2.3 把主要轴线或其平行线纳入平面控制网，有以下几点好处：

(1)可以提高主要轴线定位的精度。

(2)便于在施工放样中建立以主要轴线为坐标轴的施工坐标系统。

(3)在施工放样中，有时需要建立平行或垂直于主要轴线的矩形格网，如果把主要轴线纳入平面控制网内。可以简化矩形网的施测工作，且能提高格网的精度。

2.2.4 关于测角网技术要求的说明。

(1)测角中误差与测回数。

本规范对二、三、四等三角的测角中误差采用了与《国家三角测量和精密导线测量规范》相同的精度。

五等三角的测角中误差与《工程测量规范》中一级小三角的规定相同。各等级三角网的测回数是依据工测部门大量的实验统计资料，并参照有关规定确定的。统计资料表明，适当减少测回数，并不会明显增大测角误差。因为水利水电施工控制网的边长较国家规范规定的长度要短得多，而照准设施精致，加之建造的观测墩有强制对中装置等原因，这些对提高测角精度都是有利的。

(2)起始边精度与最弱边精度问题。

规范表 2.2.4 中关于起始边相对中误差的规定与《城市测量规范》相同，但由于本规范的精度标准是以点位中误差来衡量，因此取消了最弱边相对中误差的规定。

(3)关于起始边倾角的限值，是基于下列原因规定的：由斜距换算平距的公式

$$D = S \cos \alpha \text{ 微分得 } dD = S \sin \alpha \frac{d\alpha}{\rho}$$

$$m_D = S \sin \alpha \frac{m_\alpha}{\rho} \quad \frac{m_\alpha}{S} = \sin \alpha \frac{m_\alpha}{\rho}$$

令

$$\frac{m_D}{S} = \frac{1}{5T}$$

由于垂直角测角中误差引起的边长相对中误差，不超过要求的 $\frac{1}{5}$ ，于是，在一定的测角中误差 m_a 的前提下，其 角的限值可按式计算：

$$\sin^{-1} \alpha = \left(\frac{\rho''}{5Tm_a} \right)$$

根据表 2.2.6 得

二等 $\frac{1}{T} = \frac{1}{250000} \quad m_a = 1''.3 \quad \alpha = 7.3^\circ$

三等 $\frac{1}{T} = \frac{1}{150000} \quad m_a = 1''.9 \quad \alpha = 8.3^\circ$

四等 $\frac{1}{T} = \frac{1}{100000} \quad m_a = 2''.2 \quad \alpha = 10.8^\circ$

五等可不作限制。

2.2.5 ~ 2.2.6 对边角网、测边网提出了以下几点要求。

(1)边角网中，边长测量的精度与测角的精度要求基本适应，目的是使控制点的点位误差椭圆接近圆形。

(2)要求在测边网中，选择一些较大的角度，以相应等级的三角测量的角度观测精度进行观测，以检核边长观测的精度，其理由如下。

由于测边网中各边是独立测定的，平差后的边长精度(纵向误差)，基本上是均匀的。但其方向精度(横向误差)则受到传算路线中角度误差的影响。而角度误差与图形有关，因此测边网必须重视图形结构，以正三角形为理想图形，其大角和小角限制的理论根据如下：

设 角为等腰三角形的顶角，则经过推导整理得测边误差与角度误差的关系为

$$m''_\gamma = \sqrt{b} \rho'' \frac{m_s}{S} \operatorname{ctg} \beta$$

现以不同的测边相对中误差，以及大小不同的 角代入，可得按边长计算的角度中误差，见表 2.2.5。

表 2.2.5 等腰三边网由测距相对中误差引起的测角中误差

$\frac{m_r''}{S}$ γ°	二 等 1/250000	三 等 1/150000	四 等 1/100000	五 等 1/50000
30	0.54	0.90	1.35	2.71
40	0.73	1.22	1.84	3.68
50	0.94	1.57	2.35	4.71
60	1.17	1.94	2.92	5.84
70	1.41	2.36	3.54	7.08
80	1.69	2.82	4.24	8.48
90	2.02	3.37	5.05	10.10
100	2.41	4.01	6.01	12.00
110	2.89	4.81	7.21	14.42

由表可知： $\beta=60^\circ$ 时，其测角中误差基本相当于各等级三角网的测角中误差(因为采用值比计算作了放宽，故只基本相当)。在以 60° 角度为标准，以标准角度误差的两倍为极限，因此本规范规定测边网内角不应大于 100° ，另外，三角形内角越小，所对的边长越短。过短的边长会导致测距相对误差增加，形成不利图形。

本规范规定，对于测边网中要在一些较大的角度处，以相应等级的测角精度去观测其角值进行校核。其目的也是因为较大的角度，由边长所计算角度误差较大，用实测的角度进行比较，有利于发现和控制误差的传播。

(3)由于测边网的校核条件较少，野外观测结束后，应利用大家比较熟悉的中点多边形的圆周条件或大地四边形的组合条件进行校核，这对于检查观测质量是十分必要的。

本规范还规定，每一个待定点上必须有三条交会边，即至少有一个多余观测条件。

(4)规范表 2.2.6 中边角网的角度观测精度，与《国家三角测量与精密导线测量规范》的规定相同。平均边长相对中误差的规定，基本上是按照相应的要求计算出来的：即

$$\frac{m''_{\beta}}{\sqrt{2}\rho''} = \frac{m_s}{S \times 10^3}$$

二等 $\frac{m_s}{S} = 1'' / (\sqrt{2} \times 206265) = \frac{1}{290000} \quad \text{取} \frac{1}{250000}$

三等 $\frac{m_s}{S} = 1''.8 / (\sqrt{2} \times 206265) = \frac{1}{160000} \quad \text{取} \frac{1}{150000}$

四等 $\frac{m_s}{S} = 2''.5 / (\sqrt{2} \times 206265) = \frac{1}{117000} \quad \text{取} \frac{1}{100000}$

五等 $\frac{m_s}{S} = 5''.0 / (\sqrt{2} \times 206265) = \frac{1}{58000} \quad \text{取} \frac{1}{50000}$

考虑到目前各施工单位所拥有的测距仪的精度等级以 $3\text{mm}+2\text{ppm} \times D$ 居多，因此边长测量的精度不宜要求太高。故平均边长相对中误差的取值比计算值普遍作了放宽。试图在测角精度上加以补偿。

(5)2.2.6 第 4 款关于仪器高、棱镜高(觇牌高)的丈量，本规范提出的精度要求较高。主要是考虑到建立三维网的要求。若只是为了建立平面控制网，则该款可适当放宽。

(6)2.2.6 第 5 款规定“除二、三等网以外，可用不同等级的单向测距，代替往返测距”。强调了二、三等网必须往返测距的要求，这主要也是为了建立三维网或二维网加三角高程网的要求，保证三角点上的高程精度。

(7)规范表 2.2.6 中关于边角网、测边网天顶距观测的测回数问题。

这次修订规范，对规范表 2.2.6 中天顶距的测回数有了较大幅度的增加，原因有二：

a.为了使各个平面控制点，同时成为有四等以上精度的高程控制点，方便施工测量中的高程放样。同时，也为控制网研究三维平差准备数据。

b.测距边边长归算的需要。

表 2.2.6 各等级控制网边长相对中误差所要求的天顶距测角中误差

等级	要求的测距相对中误差分母	m''					
		$\beta=2^\circ$	$\beta=5^\circ$	$\beta=7^\circ$	$\beta=10^\circ$	$\beta=15^\circ$	$\beta=20^\circ$
二	250000	6.7	2.7	1.9	1.3	0.9	0.7

三	150000	11.1	4.5	3.2	2.2	1.5	1.1
四	100000	16.7	6.7	4.8	3.4	2.2	1.7
五	40000	41.8	16.7	12	8.4	5.6	4.3

测距边边长归算对天顶距观测精度的要求，按下式计算：

$$m_z'' = \frac{\sqrt{2}\rho''}{5T \sin \alpha}$$

式中 m_z'' ——边长归算所要求的天顶距测量中误差；

——垂直角；

T ——要求的测距相对中误差分母。

现根据各等级边角网、测角网所要求的边长测量相对中误差来计算，各等级控制网在不同的倾斜角情况下，所要求的天顶距观测中误差如下：

根据国家测绘局和广东省测绘局的试验，实地取样统计得 DJ₂ 仪器一测回的天顶距测角中误差为 $\pm 2'' .18$ ，为了确保观测精度，取一测回中误差为 $\pm 3''$ 是合适的。由此计算得各等级测边归算要求的天顶距测回数如下：

二等：要求 m_z'' 平均为 $\pm 1 .34 \quad n \geq 5(DJ_2)$

三等：要求 m_z'' 平均为 $\pm 1 .9 \quad n \geq 3(DJ_2)$

四等：要求 m_z'' 平均为 $\pm 2 .2 \quad n \geq 2(DJ_2)$

2.2.7 关于用导线(网)代替三、四、五等平面控制网问题，随着光电测距仪的广泛应用，日益受到重视。本规范对此提出了如下要求：

(1)一、二等首级网，还是仍以三角网的形式布置为好。但长隧洞的一、二等控制网是否可用导线网代替，可根据情况另行设计。

(2)当采用三～五等导线网作为平面控制网的首级网时，本条规定：导线应布置成环形网，这是因为：作为首级网的导线(网)，是不具有附合条件的；若将导线布置成单闭合环，则又显得薄弱，因此，布设成环形结点网较好。

(3)导线网的技术要求，应以最弱点点位中误差不大于 10mm 的要求，根据网的等级和平均边长，从表 2.2.7 中选择。

(4)关于导线水平角的测回数。

长江航运规划设计院对三联脚架法电磁波测距三维导线的精度分析，详细地论证了导线水平角观测理论误差和实际能达到的精度，计算了用 T_2 经纬仪进行观测应该采用的测回数，本规范表 2.2.7 中有关测回数的规定就是参照上文制定的。

若采用三联脚架法观测，其测回数可减少 1/3～1/2。见表 2.2.7。

(5)关于导线各结点间的长度的规定。

本规范 2.2.7(1)款规定：“当附合导线长度超过表 2.2.7 的规定时，应布设成结点网形。结点与结点、结点与高级点间的导线长度，不应大于表 2.2.7 规定长度的 0.7 倍”。其理论根据是河南省测绘科学研究所王树声同志对各种环形导线网的精度进行了大量计算，证明了这个结论(见 1989 年第 1 期《工程勘测》“环形导线网的精度设计”一文)。

表 2.2.7 导线水平角测回数计算表

测量方法	边长	野外一测回 水平角中误差 (")	要求的水平 角中误差 (")	计算的理论 测回数	取整	本规范 采用数
垂球对中、一般 全圆方向法	500	± 6.0	± 2.5	5.76	6	9
	1000	± 4.0	± 1.5	7.11	8	
	1000	± 4.0	± 2.5	2.56	4	
	500	± 5.0	± 2.5	4	4	6
	500	± 5.0	± 5.0	1	1	2
三联脚架法左、 右角全圆方向法	500	± 3.0	± 1.5 ± 2.5	4 1.44	4 2	6
	300	± 4.0	± 2.5	2.56	4	
	300	± 4.0	± 5.0	0.64	1	
	300	± 4.0	± 1.5	4	4	2
	1000	± 3.0	± 2.05	1.44	2	9

2.2.8 本条内容引自《工程测量规范》第 2.4.9 条，本规范表 2.2.8 中要求边长丈量较差相对中误差达到 1/30000，不是边长相对中误差，因此是可以达到的。

2.3 平面控制网的选点埋设及标志

2.3.1 ~ 2.3.6 这几条规定，主要考虑到以下几方面的原因：

- (1)使点位长期保存且稳定，便于施工放样。
- (2)减少大气因素对观测结果的影响(旁折光、垂直折光等)。
- (3)降低对中误差，提高照准精度。
- (4)埋设观测墩，建立观测棚可以改善劳动条件。

2.3.7 光电测距，对视线要求所作的规定。

对测距边的倾角，可参照 2.2.4 条(2)款的规定放宽 3° ~ 4°，这是因为测距边的相对中误差比起始边的相对中误差要低，因此经过计算，确认其倾角的限值可放宽 3° ~ 4°。

2.4 水平角观测

2.4.1 ~ 2.4.6 (1)本规范规定是根据《国家三角测量与精密导线测量规范》的规定制定的。它是常规做法，目的是为了使外业观测有一个良好的外部环境。

(2)关于水平角方向观测法的技术要求是根据《国家三角测量和精密导线测量规范》制定的。其中关于“当观测方向的垂直角超过 ± 3° 时，该方向的 2c 较差，按相邻测回同方向进行比较”的规定，其理论根据如下：

我们知道，仪器视准轴误差(c)和横轴倾斜误差(i)，对同一方向盘左观测值减盘右观测值的影响为

$$L - R = \frac{2c}{\cos \alpha} + 2i \operatorname{tg} \alpha$$

2c 的较差受垂直角的影响为

$$\Delta 2c = \left(\frac{2c}{\cos \alpha_1} + 2i \operatorname{tg} \alpha_1 \right) - \left(\frac{2c}{\cos \alpha_2} + 2i \operatorname{tg} \alpha_2 \right) \approx c \frac{a_1^2 - a_2^2}{\rho^2} + 2i(\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2)$$

当 超过 ± 3° 时，影响 2c 的主要是上式中的第二项 2i(tg α₁ - tg α₂)，设 i = 15"，则 i 角对 2c 较差的影响如表 2.4.1 所示。

表 2.4.1 i 角对 $2c$ 影响较差表

$2i(\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2)$ i	$\Delta \alpha$	5	10	15
15"		2".6	5".3	7".0

由表可知，当 超过 $\pm 3^\circ$ 时，由于 i 角的影响对 $2c$ 较差较大的数值经常出现超限的现象，因此用相邻测回同方向比较是合理的。

(3)关于导线水平角观测方法，水平角测量中误差的计算问题。

本规范 2.4.7 对导线水平角的观测问题及有关导线测量的其它问题作了规定，其理由如下：

a.关于水平角的观测方法。

用左、右角全圆方向法观测导线水平角，综合了左、右角法和全圆方向法的优点(如图 2.4.1)。导线一般测站主要观测两个方向，其观测次序为：如测站 C 站，奇数测回瞄准次序 A 、 B 、 A (正)， A 、 B 、 A (倒)；偶数测回 B 、 A 、 B (正)， B 、 A 、 B (倒)即相邻两测回中 A 、 B 均观测 6 次，合计 12 次，有效测回数多，二个方向的观测次数均匀。同时由于观测了左右角，可根据圆周角闭合差来检查外业观测质量并易发现粗差。

b.关于用三联脚架法观测问题。

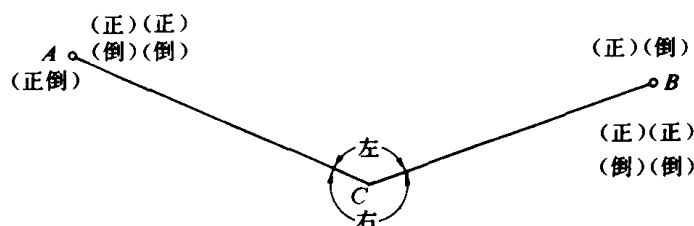


图 2.4.1 全圆方向法观测示意图

采用三联脚架法，各测站可以形成理想的空中三维导线，其对中误差和目标偏离误差极微，照准目标误差很小。能够全面、显著提高斜距、水平角、天顶距等一系列测量元素的精度。

c.关于导线水平角测量中误差 m 的计算问题，当导线条数较多时，要根据方位角闭合差 f 按下式计算水平角测量中误差

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \left(\frac{f_{\beta} f_{\beta}}{n} \right)}$$

但若导线条数很少(有时甚至只有一条导线时)，显然不能按上式计算。这时采用下式计算较为合理。即

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta \Delta]}{2n}}$$

许多实践资料证明，导线条数较多时，按方向闭合差或每条导线采用圆周角闭合差计算水平角测量中误差 m ，两者基本接近。

2.5 光电测距

2.5.1 鉴于目前测距仪的型号越来越多，精度等级的划分应该细一些，以利于实际作业中参考。故本规范将测距仪的精度划分为 4 级，与《中、短程光电测距规范》的划分标

准不同。

关于测距仪标称精度的表达式主要有两种形式：

$$m_D = \pm(a + bD \times 10^{-6})$$

$$m_D = \pm\sqrt{a + (bD \times 10^{-6})^2}$$

根据对测距仪的误差分析和实测资料回归分析验证，上述两公式的固定误差 a 比较接近，而比例误差 b 相差比较显著，而对于水利水电平面控制网来讲，最大边长在 1.5km 内，平均边长小于 1km，因此固定误差 a 占主要地位，故采用第一式估算较为直观。

2.5.3 强调测距头、反射棱镜配套使用是为了使测距仪的标称精度能够得到保证。因为实践证明，如果不同厂家或不同型号的测距头、反射棱镜混合使用，其加常数、乘常数都会发生变化。

关于测距仪的检验，本次规范修订时，比原规范有了较大的改变，因为考虑到施工企业一般没有条件(包括设备技术)进行检验，即使有些项目能够检验，其可靠性也难以保证，不敢将检验数据用于对观测值的改正。何况，这种对测距仪的全面检验次数很少，化一点钱到国家有权的检验机构进行检验是完全必要的。至于在使用中，对某些项目进行经常的检测，以查明仪器的稳定性，则可以由施工单位随时进行，其检测结果只供参考而已。

本条第(1)~(7)款的要求为光电测距的注意事项。与《中、短程光电测距规范》的有关条款相应。

本规范表 2.5.2 的技术要求有以下几点说明：

a.表 2.5.2 中有关“气象数据测定”一栏的内容，取自《中、短程光电测距规范》(以下简称 ZBA76002—87)表 2 的内容。本表只是将数字取整并略加调整而已。

b.由于本规范中有关测距仪精度等级的划分与 ZBA76002—87 的划分的标准不同，因此表 2.5.2 中各种限差作了适合调整。实践证明，这些限差是容易达到要求的。

关于往返或光段较差限值公式比 ZBA76002—87 表中的公式增加了 $\sqrt{2}$ 倍，原因是往返或光段的较差，不但受标称精度的影响，而且还有气象因素和垂直角(或高差)观测误差等因素影响。

2.5.4 ~ 2.5.5 关于测距边归算的规定需说明以下几点：

(1)测距边的气象改正，本规范规定要按仪器说明书给出的公式计算，这是因为各种型号的测距仪其所用的气象参考点以及红外波的波长都不同，因此其公式中的关系不同。

(2)测距边的加常数和乘常数改正数，必须根据有权威检验机构的结果而定，未经过检验或检验结果不可靠的或检验时间与使用时间相隔过长的，都不能使用。

(3)在测距边的投影改正计算公式中所用到的平距 D 是测站和镜站平均高程面上的距离。因此在进行投影改正时， H_m 必须是测站和镜站的平均高程。但在一些仪器的说明书中，给出了计算倾斜改正的公式，要注意按给出公式所计算的平距是投影在什么高程面上的。它们之间是不同的。例如 DM500 按说明书上的公式所计算的平距是镜站高程面上的，而 DM503 或 DI1000 是测站高程面上的距离。

(4)关于测距边的精度评定问题。

测距中误差 m_D 计算公式的来源，在一般测量教科书上都有，它是由计算差数可误差(例如往返测钢尺丈量中误差)推导而来的。

2.6 成果的验算和平差计算

2.6.2 (1)测角网各种自由项的验算限值公式，均抄自国家或专业测量规范，无需进行

推证。这次修订时，考虑到计算机的普遍使用，增加了以真数形式表示的限值公式。

(2)边角网、测边网各种自由项验算限值公式的来源，推证如下：

观测角与由边长计算所得角值的限差〔见本规范 2.6.2(2)中 b 款〕由余弦定理得

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

微分得

$$d\gamma'' = \rho'' \left\{ -\operatorname{ctg} \beta \frac{da}{a} - \operatorname{ctg} \alpha \frac{db}{b} + (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta) \frac{dc}{c} \right\}$$

化为中误差：

$$m_\gamma'' = \rho'' \left\{ \operatorname{ctg}^2 \beta \left(\frac{m_a}{a} \right)^2 + \operatorname{ctg}^2 \alpha \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta)^2 \left(\frac{m_c}{c} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

令

$$\frac{m_s}{S} = \frac{m_a}{a} = \frac{m_b}{b} = \frac{m_c}{c}$$

则

$$m_\gamma'' = \rho'' \frac{m_s}{S} \sqrt{2(\operatorname{ctg}^2 \alpha + \operatorname{ctg}^2 \beta + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta)}$$

这是由测边相对误差 $\frac{m_s}{S}$ 引起的角度误差，再加上观测角的误差 m ，就得到规范中的公式。

(3)测边网角条件(包括圆周角条件及组合角条件)自由项限值计算公式的来源：

圆周角条件方程式的形式为

$$V_{r1} + V_{r2} + \Lambda \wedge V_m + W = 0 \quad (2.6.2-1)$$

根据边角关系式，列出中心角与边长改正数的关系式：

$$V_{ri} = \frac{\rho''}{n_i} (-\cos \alpha_i V_{s2i-1} + V_{s2i} - \cos \beta_i V_{s2i+1}) \quad (2.6.2-2)$$

将(2.6.2-2)式代入(2.6.2-1)式，进行归纳并整理后就获得了各系数 a_i 的计算公式，然后按协方差传播律求出闭合差的中误差，取两倍中误差作为限值，即得

$$W_i = \pm 2m_s \sqrt{(aa)}$$

对于四边形和扇形，按同样原理推导而得。

2.6.3 平面控制网平差时的定权问题，是根据最小二乘法和数理统计的基本理论而来的。我国各种规范均使用基本相同的定权公式。由于定权时使用的是先验方差，与实际情况可能有出入，本规范提出了三种定权方法可供选择。

2.7 主要轴线的测设

2.7.1 (1)关于主要轴线点测设精度(规范表 2.7.1)的规定是基于以下两点考虑：

a.本规范规定主要轴线点的点位中误差是相对于邻近基本控制点的，而不是相对于起始点的，也就是说它只考虑轴线点测设时的测量误差。这是因为考虑到若在施工过程中的

轴线点毁坏了，需要恢复时，仍然使用同样的邻近控制点。那末就可以不考虑起始数据误差(邻近基本控制点对起始点的误差)对轴线点的影响(或称有相同的影响)。

b.该表中规定土建轴线点点位中误差为 $\pm 17\text{mm}$ 是取自规范表 6.1.2 的要求。安装轴线点点位中误差 $\pm 10\text{mm}$ ，是按照等级控制点的要求提出的。

(2)实践证明，若多次、重复测设轴线点，其点位中误差的限值都能符合规范中表 2.7.1 的要求，则对土建或安装工程都不会产生明显的影响。它和已完成的土建构件或安装构件部能顺利的衔接，而不致产生明显的裂隙。

3 高程控制测量

3.1 一般规定

3.1.1 本规范所规定的高程测量，除按《国家一、二等水准测量规范》和《国家三、四等水准测量规范》规定为二、三、四等外，结合水利水电施工测量的具体情况，增加了五等水准测量，并在研究与分析全国各有关单位进行光电三角高程试验与实测成果的基础上，也相应地规定了用其代替三、四、五等高程测量的具体实施方法。

水利水电工程首级高程控制网的确定，系根据工程建筑物的规模与建筑材料等在二、三、四、五等间选用，这样的规定是完全能保证建筑物高程放样的要求。

3.1.2 考虑到水利水电枢纽区的建筑物有的高程精度要求高，如大坝、厂房等，但有的(如砂石系统等)则要求低一些，加之高程测量，有的是以单一路线传递，有的则是在一个部位布成网形，所以规定在主体工程部位，要求最弱点对本级起算点的高程中误差应不大于 $\pm 10\text{mm}$ ，而在施工区以外的高程传递中，只要能满足国家等级高程测量的要求即行了。

3.2 水准测量

本节规定引自《国家一、二等水准测量规范》和《国家三、四等测量规范》。

3.3 光电测距三角高程测量

3.3.1 肯定了光电测距三角高程在水利水电施工测量的高程测量中应用的三个方面，这是符合实际的。

3.3.2 本条规定了光电测距三角高程代替三、四、五等水准的技术要求，这些规定一方面是根据理论计算得来的(见表 3.3.1)，另一方面是从实际经验中总结出来的(见表 3.3.2)。

(1)理论的精度估算。

为了论证光电测距三角高程所能达到的精度，我们进行了理论精度估算。估算是以

$Z=70^\circ$ ， $m_i=m_v=\pm 1.0\text{mm}$ 和 $m_i=m_v=\pm 2.0\text{mm}$ ，并以 $m_z=\pm 1''.0$ ， $\pm 1''.5$ ， $\pm 2''.0$ ，三种不同精度列于表 3.3.1。

估算公式：单向：

$$m_h^2 = m_s^2 \cos^2 Z + S^2 \sin^2 Z \left(\frac{m_z}{\rho} \right)^2 + m_i^2 + m_v^2 + \left(\frac{S^2}{2R} \right)^2 m_k^2$$

双向：

$$m_h^2 = \frac{1}{2} \left\{ m_s^2 \cos^2 Z + S^2 \sin^2 Z \left(\frac{m_z}{\rho} \right)^2 + m_i^2 + m_v^2 + \left(\frac{S^2}{2R} \right)^2 m_k^2 \right\}$$

$$m_h^2 = \frac{1}{2}(\cos^2 Z_A + \cos^2 Z_\beta)m_s^2 + 2 \sin^2 Z S^2 \left(\frac{m_z}{\rho} \right)^2 + 2m_v^2$$

隔点设站：

- (2)各有关单位的实验数据。
- 从表 3.3.1 和表 3.3.2 可以看出：理论估算与实验数据基本一致。
- (3)关于天顶距观测的精度，本规范规定：采用 DJ₂ 仪器为

三等 四测回 $m_a = \pm 1''.5$

四等 三测回 $m_a = \pm 1''.8$

五等 二测回 $m_a = \pm 2''.2$

其根据是各单位的实验数据，见表 3.3.4。

- (4)关于仪、镜(觇)高的量测问题。

使用对中杆时，直接读取对中杆的刻度，达到 1 ~ 2mm 的精度是可能的，但对中杆的磨损应事先进行检验。

在观测墩上观测时，采用特定的方法精密量测，这种方法是事先将仪器的水平轴(或棱镜和觇牌中心)至调平螺丝上部基座间的固定长度，用机械方法(或用精密水准仪配以因瓦水准尺)测定，在现场只需量测观测墩表面至仪器基座面高度即可。

在隔点法中，不需量取仪器高。在严格保持偶数测站和前、后视棱镜高度不变的情况下，也可不量棱镜高和觇牌高。

表 3.3.1 光电测距三角高程测量高差精度估算表

双向观测								
Z, m_i, m_r	$Z=70^\circ, m_i=m_r=\pm 1\text{mm}$			$Z=70^\circ, m_i=m_r=\pm 2\text{mm}$			三等水准限 $\pm 12\sqrt{L}$	四等水准限 $\pm 20\sqrt{L}$
	$\pm 1''.0$	$\pm 1''.5$	$\pm 2''.0$	$\pm 1''.0$	$\pm 1''.5$	$\pm 2''.0$		
$S(\text{m})$	$2m_h$	$2m_h$	$2m_h$	$2m_h$	$2m_h$	$2m_h$		
200	3.37	2.78	3.26	4.20	4.44	4.76	5.37	8.94
500	3.79	5.22	6.75	5.14	6.27	7.58	8.48	14.14
800	5.52	7.99	10.50	6.52	8.70	11.05	10.70	17.88
1000	6.75	8.87	13.04	7.58	10.46	13.49	12.00	20.00
单向观测								
200	3.36	3.93	5.41	5.44	6.28	6.73	5.37	8.94
500	5.36	7.42	9.54	7.26	8.87	10.72	8.48	14.14
800	7.82	11.29	14.85	9.23	12.31	15.64	10.70	17.88
1000	9.54	13.96	18.44	11.10	14.79	19.08	12.00	20.00
隔点设站法								
100	1.29	0.93	2.59				3.79	6.32
200	2.58	3.86	5.15				5.37	8.94
300	3.86	5.80	7.73				6.57	10.95
400	5.15	7.73	10.31				7.59	12.65
500	6.44	9.66	12.89				8.48	14.14
600	7.73	11.59	15.46				9.30	15.49

- 注：1.——为在三等限差以内的范围界；
 2.----为在四等限差以内的范围界；
 3.不量仪觇高的三等范围界；
 4.— · — · —不量仪觇高的四等范围界。

表 3.3.2 光电测距三角高程测量能够代替三等水准测量论述结论的综合

文件号	内容性质	测量方法	代三等水准测量边长范围(m)	基本数据				其它条件
				仪器类型		天顶距 $\left(\frac{\text{测回数}}{m_z''}\right)$	仪(镜)量高精度(mm)	
				经纬仪型号	测距仪等级			
[1]	大规模测试	双向观测	50 ~ 1160	DJ ₂	3	$\frac{3}{\pm 1.1 \sim 1.7}$	± 2	以觇牌上下缘为目标往返高差取中数
		双向观测	50 ~ 700	DJ ₂	3	$\frac{3}{\pm 1.1 \sim 1.7}$	± 2	以觇牌上缘为目标
[2]	大规模测试	双向观测	40 ~ 1100	DJ ₂	3	$\frac{3}{\pm 1.5}$	± 1	—
		隔点设站法	40 ~ 400	DJ ₂	3	$\frac{3}{\pm 1.5}$	± 1	—
[3]	测试	双向观测	< 700	DJ ₂	3	$\frac{3}{\pm 2''.0}$	± 2	—
			< 1200	DJ ₂	3	$\frac{3}{\pm 1''.5}$	± 2	

[4]	生产实践	双向观测	一般 200 ~ 800 最长 1000 左右	DJ ₂	3	$\frac{3 \sim 4}{\pm 1''.0}$	± 1	—
[5]	测试	同时对向观测	< 3000	DJ ₁	2	$\overline{\pm 1''.0}$	± 1	竖直角在 1.5 ° 左右
[6]	测试	双向观测	1000 左右	T2000		$\frac{4}{\pm 0.5}$	± 0.1	—
		隔点设站法	500	T2000		$\frac{4}{\pm 0.5}$	± 8.1	用觇牌观测
[7]	测试	隔点设站法	300	DJ ₂	2	$\frac{4}{\pm 0.97}$	—	$\Delta D \leq \frac{d}{4} \cdot \Sigma AD \leq 300$
[8]	对生产资料分析	双向观测	1100	DJ ₂	3	$\underline{2}$	± 1	往返各二测回之平均高差的平均值
[9]	测试	双向观测	< 500	DJ ₂	3	$\underline{3}$	—	—

表 3.3.4 各单位天顶距测角中误差实验数据统计表

文献号生产(实验)单位	仪器类型	观测方法	照准标志	测回数	测角中误差 ()	备注
水电部昆明设计院	DJ ₂	中丝法	—	2	± 1.43	325 个观测值平均值
广东大瑶山隧洞	DJ ₂	中丝法	—	2	± 1.60	
河南省宜阳县	DJ ₂	中丝法	—	2	± 1.10	79 个观测值算得
[10]	T2000	中丝法	—	2	± 0.5	
[6]	T2000	中丝法	—	4	± 0.5	
[11]	DJ ₁	中丝法	觇牌	6	± 0.7	
[12]	DJ ₂	中丝法	棱镜中心	3	± 1.0	
[5]	DJ ₁	中丝法	觇牌	6	± 0.82	
[7]	DJ ₂	中丝法		4	± 0.97	
[4]	DJ ₂	中丝法	棱镜中心	3 ~ 4	$\pm 0.02 \sim 0.71$	
[2]	DJ ₂	中丝法	觇牌	3	± 1.54	
[1]	DJ ₂	中丝法	觇牌	3	上 ± 1.40 中 ± 1.10 下 ± 1.70	

(5)关于照准目标问题。

边长在 500m 以内,用 DJ₂ 型仪器,照准棱镜觇牌标志还是清晰易辨的,因此在测天顶距时,可以不要改换觇牌,以简化外、内业操作与计算手续。但当边长超过 500m 时,如不用特制觇牌,可能会给天顶距观测带来较大误差,因此本规范取 500m 为直接照准棱镜中心与觇牌的界限长度。另外,无论照准棱镜还是觇牌,均规定只观测中心标志,不搞上下边缘观测,所以规定仪器与棱镜(觇牌)应架设得离地面高一些,最好不要低于 1.5m。

(6)有关文献关于 k 值的论述归纳如下几点:

a.在水利枢纽地区要想取得一个切合实际的 k 值去参与高差计算是不可能的。取一个测区的平均 k 值(即使可能的话)用于所有的边进行计算,对提高高差的精度是没有帮助的。

b.习惯采用的 $k=0.13$ ，不适用于水利水电深山峡谷地区。白山电站和水口电站的实测数据最说明问题；跨河边与顺河边的 k 值相差很大，而顺河边也不千篇一律，怎么能取得一个测区的平均 k 值而有效地去参与运算呢？

c.采用往返观测，可以消除或大为削弱大气折光的影响，因此作为三维网或高程路线在 k 值不能正确取值的情况下，必须采取往返观测。至于往返观测 k 究竟多大以及对 m_k 取何值去估算精度，都是和 k 值一样具有未定性。但一般认为：观测中的气象条件，应尽量相似，因此特规定往返观测间隔时间，宜在最短时间内完成为佳。

d.在表 3.3.1 的精度估算中，我们均忽略了 k 值的影响，这对对向观测来说，尚可削弱其部分影响。但在单向观测中是应该予以重视的。建议在实践中，结合实际情况，选用适当的 k 值(或只加地球曲率改正)参与高差计算。

(7)关于对向观测高差较差的限值问题，有关文献的论述摘录如下：

a.往返高差闭合差与测边两端高差的真误差不存在任何规律……由此可见，企图利用往返测高差闭合差作为三角高程测量限差标准，根据还不够充分。

b.在光电测距高程中……用水准测量往返较差的公式 $(\pm 12\sqrt{L}, \pm 20\sqrt{L})$ 是不合理的，因为在往返测不符值中包含了两倍大气折光差影响……如果只考虑测角误差的影响，则往返较差中误差：

$$m_d = \frac{\sqrt{2}}{\rho} Dm_z$$

($m_z = \pm 2.09$)得 $m_d = \pm 17.88\text{mm}$ ，取三倍中误差 $d_m = 50\sqrt{D}\text{mm}$ ，(D 以 km 计)。

c.在对向观测高差较差的限差说明中指出：“根据表 3.3.5 可知，超出限差 $\pm 30\sqrt{D}\text{mm}$ 所占百分数已符合误差出现的规律。考虑到生产的实际情况，条件多变，本规范在此基础上适当放宽至 $40\sqrt{D}\text{mm}$ (D 为边长以 km 计)。”

表 3.3.5 对向观测高差较差表

地区	工作性质	边数	边长(km) 最大 最小	较差 > $\pm 30\sqrt{D}$ 边数	占百分数(%)	备注
珠海	试验	62	< 1	3	4.2	其中二条边大于 1km
西南某矿区	试验	61	1.83 0.05	5	8.2	
迁安	生产	70	0.92 0.14	4	5.7	
西南某矿区	生产	126		2		

注：引文系指四等高程测量。

d.(通过大量数据算得)对向观测高差平均值的中误差为 $M_n = \pm 12.5S$ (按四等)，按误差传播定律并取中误差的两倍作为限差，则往返高差不符值的限差为 $d_h = \pm 4 \times 12.5S = \pm 50D(\text{mm})$ (D 以 km 计)，建议采用 $d_h = \pm 100S$ 。

本规范在考虑这一限差时，对已有资料，进行了几组数据的数理统计分析，想求出高差观测的似真误差与边长的关系(在 1000m 内)，结果也发现二者呈松散的统计规律，难以找出一个合适的规定去提高与加强三角高程测量的精度，但所有文献均一致认为“……有时往返测较差虽然相当大，但取平均值后，无论在环线闭合或与水准附和都能达到相应等级水准测量的限差要求，因此适当地规定较差限差，主要是防止粗差，故限值可以适当放宽，以免造成不必要的返工浪费”。本规范就是从这一出发点，参照 b、d，作出 $\pm 50D$ (三

等)、 $\pm 70D$ (四等)(D 以 km 计)的规定的。

(8)关于隔点设站法后视与前视距离差的限值问题。

这项限值的规定直接牵涉到野外作业的效率,因此应十分慎重,有关文献规定应小于 10m,这可能会给野外选点带来困难。

在考虑到山区前后视转点选择的困难,前后视距差值可能较大,因此我们规定了在计算高差公式中应加入两差改正计算的内容。所以对前后视距差的限值,不必严格要求,概略的规定不大于 40m 即可。

(9)关于附合或环线闭合差的要求,我们仍采用与相应等级水准测量的规定。

3.4 跨河高程测量

3.4.1 ~ 3.4.2 鉴于水利水电工程均系在河流两岸进行,结合《国家一、二等水准测量规范》和近年来的全国各水利水电测绘单位进行的试验,特别是水口电站通过大量的光电测距三角高程跨河的实测资料表明,用其代替二、三、四、五等跨河水准测量是可行的。

关于跨河图形的布置,我们除规定了一般跨河水准的图 3.4.2(b)、图 3.4.2(c)、图 3.4.2(d)外,特规定了二等必须采用大地四边形图形,增加了两岸往返观测数,以保证达到相应等级的精度,这是参照《国家一、二等水准测量规范》,和黄河水利委员会大量的二等跨河高程测量的总结文献制定的。

至于三等以下跨河图形及操作方法,是根据水口电站大量的跨河光电测距三角高程测量的实践而制定的,其方法简单,具体实用。

3.4.3 有关跨河高程测量的技术要求的说明。

(1)由于在跨河高程测量中,测距精度对高差的影响不是主要的,所以我们只规定,在不同时间段内,只需往返测两次即可。

(2)关于跨河高程测量视线长度的规定。

鉴于二等跨河高程测量的精度要求高,而国内大多数水利水电工程所在的河流不太宽,所以我们只定了 500m 的档次。如河流宽度超过 500m 时,可参照国家规范执行。

关于三、四、五等跨河高程测量视线长度,我们作了 800m, 1000m, 1500m 的规定,具体操作也是较方便的。

(3)关于天顶距测量。

这次取二、三、四、五等测角中误差为 $\pm 0''.5$ (DJ₁)和 $\pm 1''.5$ 、 $\pm 1''.8$ 、 $\pm 2''.2$ (DJ₂)其测回数顺次规定为 6、4、3、2。结合国内大量实验资料,也是完全能够达到的。

3.4.4 考虑到用光电测距三角高程代替过河等级水准是一件新的工作,因此,应该规定具体作业程序和操作方法。这些内容引自《国家一、二等水准测量规范》。

3.5 外业成果的整理与平差计算

3.5.3 关于计算 M 和 M_W 的说明。

在一个水利水电工地上,水准路线虽然多,但闭合环很少。因此,计算 M 还可以,计算 M_W 就有困难。本条新提出在二个公式计算时,应注意它们的前提条件。

4 放样的准备与方法

4.1 一般规定

4.1.1 任何测量工作开始之前,都必须收集有关资料,施工放样工作也不例外。条文所列内容都是不可少的资料,否则,工作无法展开。

4.1.2 由于收集的图纸、资料与施工放样有关的数据、尺寸可能存在错误,如不进行

校核，一旦用错数据、尺寸进行放样，轻者造成施工放样的返工，重者造成工程质量事故，因此作出本条规定。

4.1.3 测量放样必须按正式设计图纸和文件进行。这是因为个人随意修改图纸或口头通知，是对国家对工程不负责任的表现，同时，正确与否无所凭据。

4.1.4 本条规定是测量工作的传统做法。为了避免事故的发生，特加以强调。

4.1.5 这是施工放样测量工作应该做的。

4.2 放样数据准备

4.2.1 事先准备好放样数据和草图是施工测量人员常规做法。

在当前广泛使用电子计算机的情况下，特别强调对输入原始数据的正确性进行校核是十分重要的。

4.2.2 放样数据手簿，对于施工测量人员在现场查找有关数据，及时应付现场放样的急需以及在以后整理资料时，便于查考有关放样的依据都是十分必要的。

4.2.3 本条强调放样手簿记录中应注意的事项，是保证测量资料完整的重要一环。

4.3 平面位置放样方法的选择

4.3.1 放样方法与放样的精度要求，与现场工作条件和拥有的仪器设备有关，也与放样程序有关，本条指出来是为了使作业人员便于考虑。

4.3.2 放样的方法与精度估算，是放样工作保证质量的基础。

4.3.3、4.3.10 这几条规定的各种放样方法的技术规格，是根据附录 F 所列的精度估算公式分别算出的。计算时，是将点位中误差分为： ± 15 、 $\pm 30\text{mm}$ 和 $\pm 50\text{mm}$ 三个档次。它们分别能满足填筑、开挖和辅助工程测站点的精度要求。估算时，均不考虑起始数据的误差。测角中误差取 DJ_2 的一测回为 $6''$ ， DJ_6 的测角中误差，由于没有见到测试资料，估算时，基本上是取 DJ_2 一测回中误差的 2 倍。测距中误差只取测距仪标称精度的常数误差。

4.3.11 规定了在上列各种放样方法中应共同注意的几点。

4.3.12 关于施工导线的技术要求，考虑了以下几点：

(1) 档次仍分为三个(± 15 、 ± 30 、 $\pm 50\text{mm}$)。

(2) 导线均应起闭于点位误差小于或等于 $\pm 10\text{mm}$ 的等级控制点上。对点位差为 15mm 的导线来讲，应考虑起始点误差的影响，原因是由于测量误差所引起的导线最弱点的误差为 $\pm 11\text{mm}$ ，即 $m_{\text{测}} = \pm \sqrt{15^2 - 10^2} \approx \pm 11\text{mm}$ 。对于第二、三种情况的导线，其起始误差可忽略不计。

(3) 导线测角中误差，为求统一，参照国家规范和《水利水电工程规划设计阶段测量规范》规定为 $\pm 1''$ 、 $\pm 1.8''$ 、 $\pm 2.5''$ 、 $\pm 5''$ 、 $\pm 10''$ 、 $\pm 20''$ 。

(4) 钢带尺量距技术要求的规定，是参照《火力发电厂测量规程》、《工程测量规范》、《地形地质勘探工程测量规范》和实际作业情况制定的。

(5) 二米横基尺视差法测定导线边长技术要求(表 4.3.12-2)，是根据下列公式计算得出的。导线边长相对中误差与分段测量精度的关系有

$$\frac{1}{T} = \frac{S}{M} \sqrt{n/L} \quad (4.3.12-1)$$

式中 $\frac{1}{T}$ ——导线边长相对中误差；

L ——导线边长；

S ——分段测距长度；

$\frac{1}{M}$ ——分段测距相对中误差；

n ——分段数。

由(4.3.12-1)式得

$$\frac{1}{T} = \frac{m_s \sqrt{n}}{L} \quad (4.3.12-2)$$

端点法测距中误差为

$$m_s = \frac{S^2 m_r}{b\rho} \quad (4.3.12-3)$$

将(4.3.12-3)式代入(4.2.12-2)式得：

$$\frac{1}{T} = \frac{S^2 m_r}{b\rho} \sqrt{n} / L = \sqrt{\frac{L}{S}} S^2 m_r / bL\rho$$

式中 b ——横基尺长，2m；

m_r ——视差角测角中误差；

——206265。

经变化整理得

$$S = \sqrt[3]{\frac{Lb^2 \rho^2}{T^2 m_r^2}} \quad (4.3.12-4)$$

(4.3.12-4)式就是计算端点法分段测量导线边长的分段测距长度的公式。

同理，可得式(4.3.12-5)，用于计算中点法分段测量导线边长的分段测距长度。

$$S = \sqrt[3]{\frac{8b^2 \rho^2 L}{T^2 m_r^2}} \quad (4.3.12-5)$$

至于视差角观测的测回数，是根据 1978 年《测绘通报》第三期张作容写的“视差角测角精度、测回数及限差问题探讨”一文，该文通过对大量实测资料分析得出：用 T₂ 型经纬仪测六个半测回平均值的测角中误差，可以达到一秒的精度。表 4.3.12-2 中半测回数是按下式计算确定的。

$$n = \frac{\sigma}{m_r^2} \quad (4.3.12-6)$$

式中 m_r ——视差角测角中误差。

4.3.13 光电测距导线技术要求(表 4.3.13)是根据下列公式计算列出的。

(1)直伸附合导线经角度分配后，终点 B 的闭合差中误差为

$$M_B = \pm \sqrt{m_s^2 n + \left(\frac{m_\beta}{\rho} L\right)^2 \frac{n+3}{12}} \quad (4.3.13-1)$$

(2)导线中点(最弱点)K 平差后的中误差为

$$m_K = \pm \frac{1}{2} \sqrt{m_s^2 n + \left(\frac{m_\beta}{\rho} L\right)^2 \frac{n+3}{48}} \quad (4.3.13-2)$$

式中 m_s ——测边中误差；
 m ——测角中误差；
 n ——导线折角数；
 L ——导线总长。

(3)导线全长相对闭合差为

$$\frac{M_\beta}{L} \quad (4.3.13-3)$$

上列式中均未顾及起始数据的误差。

4.3.14 本条规定的目的是提醒作业人员，在使用钢尺的尺长方程时，放样和量测，各参数的符号是相反的，否则容易搞错。

4.4 高程放样方法的选择

本节根据高程放样的精度要求，提出了应该采用的放样方法。并对各种方法应该注意的问题加以强调。例如：在当前广泛使用测距仪时，三角高程中应加入地球曲率改正，这虽是常识范围内的事，但一些具体作业人员，往往忽略而造成事故。又如，用具有平行玻璃板的水准仪放样和用钢尺传递高程的计算方法是陌生的，这里列出来是很有必要的。

4.5 仪器、工具的检验

4.5.1 施工放样就是确定建筑物在实地上的位置。其方法不外乎测角、量距和测高。为使放样点位置正确，施工放样人员除注意存在的人为误差及外界误差的影响外，对仪器的各项误差应使其影响达到能容许的地步。为此，应定期对仪器进行检验校正。规定检验的各项均为常规检验项目。

4.5.2 对使用的有关测量工具进行必要的检验(如钢带尺、水准尺、塔尺和垂球等)，使其误差与欲达到的测量精度相一致。

5 开挖工程测量

5.1 一般规定

5.1.1 一般开挖放样的具体内容。

5.1.2 开挖放样的精度在已有规范如《地下开挖工程规范》(SDJ212—83)，《岩石基础开挖工程施工技术规范》(SDJ211—83)中，一般规定为 $\pm 200\text{mm}$ 。随着开挖手段的更新，开挖方法的改进，开挖精度也相应地有了提高。因此本规范分为三种情况，规定不同的开挖放样精度。即有密集钢筋网部位的基础轮廓点和预裂爆破孔的定位，规定为 $\pm 50 \sim \pm 100\text{mm}$ ；主体工程部位的一般开挖规定为 $\pm 100\text{mm}$ ；土石方覆盖层开挖，规定为 $\pm 200\text{mm}$ 。这样做是很有必要的，因为：

(1) 当前有许多大型水利水电工程的开挖已经普遍采用预裂爆破技术，而预裂爆破孔一次就下钻 $8 \sim 12\text{m}$ 或更深，如果放样误差太大，将无法再第二次下钻处理。有密集钢筋网部位对欠挖的严格要求更是理所当然的。

(2) 自从实行施工监理制度以来，对于开挖的超、欠挖有了严格的控制，因超挖所引起的开挖工程量和混凝土工程量将不予付款。

(3) 施工测量的设备和技术水平有了提高,能够满足上述要求。同时严格的要求,也能改变开挖放样中的粗放作业现象。

5.2 开挖工程细部放样

5.2.2 开挖工程的细部放样方法有极坐标法,测角前方交会法、后方交会法等,但基本的方法主要是极坐标法和前方交会法。后方交会法只是测设放样测站点的坐标,然后由测站点再用极坐标法放样。直接用后方交会法放样开挖轮廓点的情况很少。

实践证明,在开阔地区,采用三点前方交会法放样,不仅有校核条件,而且速度快,且能获得放样点三维坐标,尤其是预裂孔定位,采用此法是最实用的。用极坐标法放样开挖轮廓点,测站点必须靠近放样点,因此不论以钢尺或皮尺量距,均以一尺段为限,对于用视距法或视差法放样也必须限制放样距离。

5.2.4 本条强调要对所有放样的细部点进行校核。主要防止粗差,以能发现错误为目的,保证放样点的准确性。校核方法可以是目测、与前次放样对照、丈量各放样点之间的相对关系或在关键点上作简易后方交会等方法。

5.2.5 ~ 5.2.6 这两条规定对于指导开挖施工是十分必要的。因为开挖工作面天天都在变化,如果我们在预裂面上或欠挖部位经常标上桩号和高程,施工人员、地质人员、施工监理人员就可以随时了解开挖的进程,防止超挖或欠挖的发生。在接近竣工的开挖面上画出开挖轮廓线,使验收人员一目了然。也便于验收后锚筋孔的施工,立模架子的绑扎以及清基撬挖人员的作业,也是走向文明施工的一步。

5.3 断面测量和工程量计算

5.3.4 断面中心桩的精度要求。

对于原始收方断面来讲,其用途就是收方。因此,用视距测量的精度(1/100 ~ 1/300)来测设断面桩也就可以了。因为纵向误差的大小只涉及到断面位置上的平行移动,横向误差的大小不改变断面的形状和面积,只改变中心点在断面上的位置。对于竣工断面来讲,其用途除了计算工程量外,还涉及到超、欠挖的确定,以及开挖轮廓点是否满足结构的需要,因此,其中心桩的点位误差应不大于5cm。

5.3.5 规范表 5.3.5 的规定,就是第 10 章 10.1.7 中地物点位置中误差的规定。

5.3.7 关于采用地面摄影法施测开挖断面的几点说明。

(1)基线长度 B_{\min} 、 B_{\max} 的确定。

B_{\min} 是根据竖距的误差 m_y 的大小确定的。 m_y 的表达式为

$$m_{Y\phi} = \pm \frac{Y_{\phi}^2 m_p}{Bf} (Y_{\phi} = Y_{\max})。令 m_Y = 0.4\text{mm}(\text{图上}), f=200\text{mm}; m_p=0.01\text{mm}, 则$$

$$B_{\min} = Y_{\max}^2 / 8M。$$

B_{\max} 是根据人眼立体观察的效应决定的。

一般人眼观察立体效应的交会角不大于 15° , 如大于 15° , 则立体效应将迅速降低。如图 5.3.7, b 为眼基线, y 为明视距离。一般为 25mm, 则 $r=15^\circ$ 时

$$\text{tg} 7.5^\circ = \frac{b}{2y} = 0.13 \text{ 因而得}$$

$$B_{\max} = 2Y \times 0.13 = Y_{\min}/4 \text{ 因此基线应选在}$$

$$B_{\min} \sim B_{\max} = \frac{Y_{\max}^2}{8M} \sim \frac{Y_{\min}}{4}$$

考虑到水电系统的实际和精度的需要，规定为

$$\frac{Y_{\max}}{20} \leq B \leq \frac{Y_{\max}}{4} \quad (5.3.7-1)$$

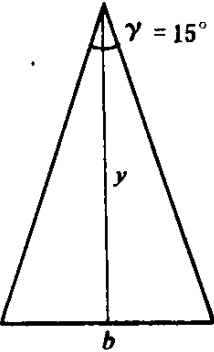


图 5.3.7 人眼立体交会效应图

(2)关于最大竖距长度的限值(见表 5.3.7)，本规范规定“在像片控制点按标准形式布置的条件下，最大竖距长度可再增加 0.5M”。这是根据水口工程的大量实践作出的。例如水口工程中统计 36 个象对的资料如下：

表 5.3.7 各像点的测量值与野外测定值比较表

象对号	基线长(m)	点数	最大 Y 距 (Y_{\max}) (m)	三维坐标中误差(m)			平均 Y 距 (m)	相对误差	M=500 时 (m)
				X	Y	H			
35 [#]	98.023	9	1135	0.123	0.232	0.098	1015	1/4377	2.3
78	105.704	9	1138	0.150	0.169	0.188	916	1/5421	2.3
33	128.094	11	909	0.105	0.190	0.050	800	1/4211	1.8
34	128.094	12	865	0.062	0.093	0.056	743	1/7494	1.7
36	98.023	8	1128	0.121	0.153	0.074	1036	1/6769	2.2
37	128.094	6	808	0.130	0.127	0.70	680	1/5354	1.6

由表知：基线长大约为 $y_{\max}/7$ ，最大 y 距在相对误差达 1/4000 ~ 1/5000 的条件下，仍可达到 1.6 ~ 2.3m。一般断面测量的相对误差达到 1/1000 ~ 1/2000，已经很好，因此 y 距放长 0.5m 是没有问题的。关键是像片控制点布置合理，改正数计算方法恰当及外业摄影的质量好。

(3) 关于像片坐标改正数的计算方法。

原规范根据龙羊峡的经验(断面很陡，在 Y 距方向变化不大，Y 距较短等)，采用多个像片控制点像片坐标改正数的平均值是可行的。但对断面在 Y 距方向延伸很大， Y_{\max} 达到 600 ~ 1000m 时，采用平均值的改正方法已不能满足要求。因此本规范要求采用“线性内插法”，该方法是根据像片控制点坐标的误差理论，经过图解推导的一种近似方法，虽不完全严密，但比“平均值”已经前进了一大步，经过水口电站 500 多个像对的应用证明是有效的，其理论根据及具体推导过程见《水口水电站摄影测量的应用与误差处理》一文。

(4) 关于基线丈量精度问题。

由公式 $y=Bf/p$ ，微分并转为中误差得： $m_y/Y=m_B/B$ ，即基线测量的相对误差不低于竖距的相对误差，用 $m_y=0.4\text{mm}$ ， $Y=0.8M$ 代入得

$$\frac{m_B}{B} = \frac{0.4\text{mm}}{0.8M} = \frac{1}{2000}$$

这就是要求基线测量的相对中误差。

(5) 关于两摄影站之间高差的限值。

当两摄影站的高差达到 $B/5$ 时, (推算过程从略), 其中有一个摄影站的像主点已处于像片的边缘($4.5\text{cm}+1.0\text{cm}=5.5\text{cm}$, 最大为 6cm), 在内业仪器上已接近极限位置, 故本规范规定两摄影站之间高差不得大于 $B/5$ 。

(6) 关于像片控制点平面位置精度的规定。

考虑到视差 p 的误差对断面点位置的影响最大, 因此仅分析像片控制点的误差对竖距 y_p 的影响, 令像控点的平面位置误差对 P 的误差不超过 p 的量测误差($m_p=\pm 0.01\text{mm}$)的四分之一。经计算得像片控制点平面位置和高程的中误差不大于图上 0.1mm , 在野外困难地区允许放宽至 0.2mm 和 0.3mm 。

(7) 关于等偏角 φ 的限值。

当采用等偏摄影, 等偏角 φ 达到 30° 时, 在 $Y_{\min}=4B$ 处, 只有 $0.128B$ 的重叠, 因而等偏角不能再大。由于等偏摄影的误差比正直摄影的误差大 $\sec\varphi$ 倍(系 m_p 的误差), $\sec 30^\circ=1.155$, 即偏角 φ 为 30° 时, 误差增加了 15.5% , 因此偏角 φ 应有限制。为了便于在立体坐标量测仪上寻找立体, 也应限制偏角。综合上述情况。故规定采用等偏摄影时, 等偏角不应大于 30° 。

5.3.8 关于交会法断面测量, 本规范除了原来的激光交会法外, 还增加了前方交会法, 特征点交会法。由于它们都是交会法的原理, 因此表 5.3.8 适用于以上三种方法。特征点交会法是在刘家峡电站施工时创造出来的一种办法, 它是利用陡壁上位于断面线上的特征点(小草、裂缝、石尖等)作为交会目标。它不需人工立点、精度视特征形状而异。在中、小型电站, 没有激光、地面摄影等设备的条件下, 也不失为解决陡坡断面测量难题的一种方法。不过, 它要在现场随测随算, 以检查瞄准目标的错误。交会法(激光交会、前方交会, 特征点交会)断面测量的方法, 是除了地面摄影法以外, 进行陡坡断面测量经常使用且行之有效的办法。其误差关系式推导如下(如图 5.3.8)。

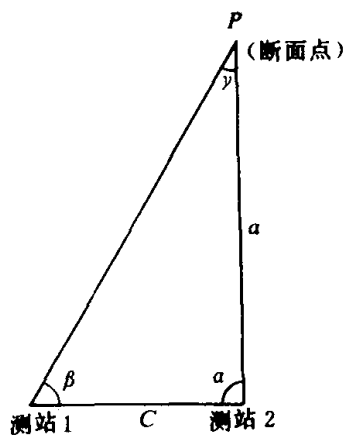


图 5.3.8 地面摄影交会图

一般 90° , 由于 a 、 b 是现场测设的, 都存在误差, 因此 $m_c^2=m_a^2+m_b^2$ 。所谓断面测量的误差, 主要是边长 a 的误差, 由图知(90° 为例推导)

$$\alpha = \frac{c \sin \beta}{\sin \gamma} \quad (5.3.8-1)$$

微分, 转为中误差得断面边长 d 的相对中误差关系式:

$$\left(\frac{m_a}{a}\right)^2 = \left(\frac{m_c}{c}\right)^2 + \left(\text{ctg}\beta + \frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 + \left(\text{ctg}\gamma \frac{m_\gamma}{\rho}\right)^2 \quad (5.3.8-2)$$

(1) 交会角 和测角误差 m_α 、 m_β 的确定。

由于现场条件的限制，基线不会太长，因此交会角不会太大，最不利的情况不能小于 10° ，表 5.3.8 的规定就是按照 $=10^\circ$ 计算的。

关于 m_α 、 m_β 的精度，考虑到在断面测量中只能半测回(或一次后视，多次前视)测定，因而许多误差(如视准差、横轴倾斜误差等)不能消除，再加上激光(或特征)点有一定的发散角(或宽度)，两台仪器不能瞄准同一个点。因此 DJ₂ 级仪器的测角中误差从 $\pm 6''$ 放宽到 $\pm 30''$ ，DJ₆ 级仪器从 $\pm 20''$ 放宽到 $\pm 50''$ 。

(2) 交会边竖距 的最大长度和最小基线长度的确定。将基线相对误差

$$\frac{m_c}{c} = \frac{1}{2000}, m_\alpha = m_\beta = \pm 30'' (\pm 50''),$$

$m_\gamma = \pm \sqrt{2} m_\beta$ 代入

$$\alpha = m_\alpha / \sqrt{\left(\frac{m_c}{c}\right)^2 + \left(\text{ctg}\beta \frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 + \left(\text{ctg}\gamma \frac{m_\gamma}{\rho}\right)^2}$$

计算得下表：

表 5.3.8 交会法断面测量最大竖距和最短基线限值表

限 值 (图 上 mm) 断 面 类 别	项 目 使 用 仪 器	最 大 竖 距		最 短 基 线	
		DJ ₂ 经纬仪	DJ ₆ 经纬仪	DJ ₂ 经纬仪	DJ ₆ 经纬仪
竣 工 断 面		0.6M	0.37M	0.1M	0.07M
原始收方断面		0.8M	0.5M	0.14M	0.10M

注：1.M 为断面图比例尺；

2.上表按 $=10^\circ$ 计算。

例如：欲测 1/200 竣工断面，已知基线长为 20m，则按 1/200 竣工图的要求，交会角在 10° 左右时，最大竖距长度允许为 $0.6 \times M \times 20 / (0.1 \times M) = 120\text{m}$ 。若基线长度为 15m，则最大竖距长度为 $0.6 \times M \times 15 / (0.1 \times M) = 90\text{m}$ 。若欲测竖距长度为 250m，则最短基线为：
 $B_{\min} = 250 / (0.6 \times M) \times 0.1 \times M = 41.66\text{m}$ 。

(3) 关于两站测得的断面点高程较差限值的规定。

同一断面点的高程，可分别由 A₁、A₂ 站算得，它们之间的较差应满足一定的要求，否则无法判断其正确与否。

由解析法三角高程单向观测高差中误差计算公式：

$$m_h = \pm \sqrt{(m_s \text{tg}\alpha)^2 + (s / \cos^2 \alpha)^2 \times (m_\alpha'' / \rho'')^2 + m_i^2 + 2m_\gamma^2}$$

略去 m_i 和 m_γ 影响得

$$m_h = \pm s \sqrt{\left(\frac{m_s}{s} \text{tg}\alpha\right)^2 + \left(\frac{m_\alpha''}{\cos^2 \alpha \rho''}\right)^2}$$

式中 s ——相应的最大竖距长度。

$$\text{取 } \frac{m_s}{s} = \frac{1}{1000}, \quad \alpha = 20^\circ (\text{垂直角}),$$

$$m_a = \pm 30'' (\pm 50'')$$

代入公式得： $m_h = 4 \times 10^{-4} a$

$$\text{断面点高程的较差为 } m_{\Delta m} = 2\sqrt{2}m_h = 1.13 \times 10^{-3} \cdot a$$

用规范表 5.3.7 中相应的 a (最大竖距)代入,取 DJ₂、DJ₆的平均值,即得 $0.5\text{mm} \times M$ 和 $0.7\text{mm} \times M$,见规范表 5.3.8。

例如:对于竣工断面,则 $a=0.6M(\text{DJ}_2)$, $a=0.37M(\text{DJ}_6)$ 代入得 $m=1.1 \times 10^{-3} \times 0.6$ (或 0.37)
 $\times 1000=0.66M(\text{mm})$ 和 $0.041M(\text{mm})$,取平均值 $0.535M(\text{mm})$,取整数 $0.5M(\text{mm})$ 。

(4) 关于由两个三角形测定的断面边长 a 的较差限值的规定。

当由三台经纬仪组成两个三角形进行交会时,一点可算得两个边长 a 和 a' , 它们的较差为 $\Delta a = a - a'$ 。化为中误差关系式: $m_{\Delta a} = \sqrt{2}m_a$, 限值 $\Delta = 2\sqrt{2}m_a$ 。因为已规定 $m_a =$

$\pm 0.75\text{mm}$ (图上)和 $\pm 0.1\text{mm}$ (图上),故 $\Delta = 2 \times \sqrt{2} \times 0.75M = 2.1M$ 和

$\Delta = 2 \times \sqrt{2} \times 0.1M = 0.28M$ 。从严要求取 $1.5M$ 和 $2.0M(\text{mm})$ 。

5.3.9 根据资料,视距测量单向观测的精度约为 $1/200$,当视距长度 $S = 100\text{m}$ 时,边长误差为 $100/200=0.5\text{m}$,在 $1/500$ 的图上约为 1mm ;当 $S = 40\text{m}$ 时,边长误差为 $40/200=0.2\text{m}$, $1/200$ 断面图上为 1mm 。仍可符合原始收方断面的要求(规范表 5.3.5 的规定)。

高程误差由下式估算:

$$m_h = S' \sqrt{\frac{1}{4} \sin^2 2\alpha \left(\frac{m_s}{S}\right)^2 + \cos^2 2\alpha \left(\frac{m_a}{\rho}\right)^2}$$

以 $\alpha = 10^\circ$, $m_a = \pm 1''$, $\frac{m_s}{S} = \frac{1}{200}$ 代入得

当 $S = 100\text{m}$ 时 $m_h = 0.086\text{m}$

$S = 40\text{m}$ 时 $m_h = 0.034\text{m}$

因此,高程精度也能满足规范表 5.3.5 的规定。

5.3.10 能采用花杆置平量距法测断面的地方,一般地形比较平坦,方向偏差对断面形状不会有很大的影响。但是考虑到方向偏差太大,会使断面点对断面中心桩的距离产生过大的误差,因此本条规定每侧长度不得超过 50m 。

5.3.13 ~ 5.3.14 在实行投标、招标、施工监理的新情况下,工程量的计算显得特别重要,日益受到各级领导的重视,为此,本规范也作了一些新的规定。

(1) 开挖工程量的“结算应以测量收方成果为依据”,这是一条新的规定,我们试图通过这条规定,加强测量人员的责任心,树立测量人员工程量收方的权威。

(2) 关于断面间距和位置的布设,本规范作了规定:要求根据地形变化或等间距确定。这是为了防止多算或少算工程量而有意识布置在特定位置。

(3) 面积计算方法,现在已逐渐由图解法(求积仪)向解析法转变。本规范提倡用解析法。但目前大部分单位仍用图解法,因此本规范规定,当用图解法时,要考虑图纸伸缩系

数以及求积仪本身的精度。

(4) 在实行施工监理及工程承包制度以后，甲、乙双方关于工程量结算的纠纷事件日益增多，为了使各方有一个合理的、科学的评判标准，本规范对甲、乙双方计算的工程量差额问题如何处理作了规定，其理论依据如下：

在军委测绘学院杨定国同志所写的《图面积量算的精度分析》一文中，给出了下列计算公式，用解析法计算面积时：

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}); m_p = \pm m \sqrt{P}$$

用求积仪计算面积时： $m_p = 0.02P$

式中 P ——量算的总面积；

x_i, y_i ——图形各转折点的坐标，其中 $y_{n+1}=y_1, y_0=y_n$ ；

m_p ——面积中误差；

m ——各转折点的坐标中误差。

用解析法计算时，如果各转折点坐标是由坐标数字仪器获得的，则 $m = \pm 0.18$ 图上 mm。

如果各坐标是由方格纸(厘米计算纸)或直角尺从图纸上读得的，则 $m = \pm 0.38$ 图上 mm。

由此得各种量测方法下的面积中误差 m_p 的估算公式如下：

数字仪器： $m_p = \pm 0.18 \sqrt{P}$

方格网、直尺读数： $m_p = \pm 0.38 \sqrt{P}$

求积仪： $m_p = \pm 0.02P$

由于面积计算是由甲、乙双方各自进行的，因此应乘以 $\sqrt{2}$ ，若是限值，应乘以 $2\sqrt{2}$ 。

故面积量算误差的限值为：

数字仪器： $m_p = \pm 0.51 \sqrt{P}$

方格网、直尺读数： $m_p = \pm 1.07 \sqrt{P}$

求积仪： $m_p = \pm 0.06P$

由此可知：当面积较大时，求积仪的精度最低，其误差为总面积的 6%。本规范取综合指标规定为：石方不超过 5%，土方不超过 7%，否则应重测。

5.4 资料整理

5.4.1 ~ 5.4.2 根据各工程局的实际情况，一般对开挖放样的资料整理重视不够，因此规定这二条是必要的。

5.4.3 本条提出“在有条件的单位使用计算机，建立工程量数据库”。一个大型水利水电工程，开挖工程量达几百万甚至千万立方米，项目繁多，情况各异，如果能够建立起一个完整的数据库，这对于投资计算，计划的编制与检查，以及竣工结算都是很必要的。

6 立模与填筑放样

6.1 一般规定

6.1.1 立模和填筑放样的主要内容是根据目前大中型水利水电工程施工测量的实际工

作内容规定的。

6.1.2 关于水工建筑物的放样精度，国内尚无统一规定，国际工程测量专业委员会虽然设立一个“施工限差与精度研究小组”，但也没有查到具体数值，本章所列精度指标是根据下列文献、资料 and 实际作业情况确定的。

(1) 全国各大中型水电站，特别是新安江、富春江、乌溪江三个电站的实际资料。

(2) 李青岳教授主编《工程测量学》第 102 页指出：“目前大多数有关文献，都能保证以放样点位中误差不超过 $\pm(10 \sim 20)\text{mm}$ ，作为确定施工控制网必要精度的起算数据”。

(3) 参考建工总局编的《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规定》(JGJ3—91)和原水利电力部编的《水工混凝土施工规范》(DDJ207—82)的有关条文。

(4) 碾压式土石坝的放样精度是参照《碾压式土石坝施工技术规范》第 2.0.8 条中断面比例尺的精度换算的，即最高精度的放样误差不大于图上 $\pm 0.2\text{mm}$ ，实地距离为 $\pm 40\text{mm}$ 。

(5) 对于各种孔洞位置的精度要求，电梯井、正、倒垂孔等平面位置精度要求高，所以均要求按各种主要水工建筑的精度标准执行。

6.1.3 关于混凝土预制构件拼装及高层建筑混凝土浇筑的精度，是根据建工总局《钢筋混凝土高层建筑结构设计及施工规定》(JGJ3—91)，并结合几个电站开关站结构架立柱的安装情况规定的。

6.1.4 为了保证拼装面水平，同一层四个角的高差之差，不应超过一定的限值。由于拼装面一般范围不大，一次仪高可全部测完，限差 $\pm 3\text{mm}$ 就是根据四等水准一测站的读数精度要求规定的。

6.1.5 本条原规定为“用于立模、填筑放样的高程控制点，应不低于四等的精度”。

由于水电施工高程放样，一般视线都很短，如果水准点的精度用等级标准来衡量不太直观。故现修改为“用于立模、填筑放样的高程控制点，其高程中误差不应大于 $\pm 15\text{mm}$ ”，这 15mm 的规定，是参照表 6.1.2 中关于“平面位置误差分配”的数字确定的。

6.2 建筑物的细部放样

6.2.1 ~ 6.2.2 规定了放样点的密度和必须放出的一些特征点，这是实践经验的总结。对于特殊形状建筑物放样，主要是保持其相对精度，经过分层，分块浇筑后，仍能保证设计的体形。其绝对精度要求并不很高。因此，测站点不能采用相互独立的交会点，导线点，而要采用长期保存的、统一的轴线点。

6.2.3 ~ 6.2.4 叙述了适用于立模、填筑细部放样的各种方法。各种方法都应该具备一定的条件且运用于一定的场合，叙述这些方法的目的也就是为了强调这点。

关于辅助轴线的测设，其中距离丈量的相对精度的规定：有金属结构联系部位为 1/2000；无金属结构联系的部位为 1/1000。前者是根据《机械工业建厂测量规范》的规定制定的。

建筑物的特殊形状，一般都是由曲线构成的。实践经验证明，在现场放样时，宜事先计算好放样数据，并经检核，否则现场临时计算，既耽误时间又容易出错。本条同时规定应编制放样数据表。

6.2.5 对挡墙、护坦等狭长建筑物，按以往的施工经验，采用导线作控制比较好，由导线点把建筑物的转折点联系起来，作为细部放样的测站点。对附和导线的点位误差，按规定按一类建筑物的精度要求，目的是给细部放样有 17mm 的余地。

6.2.6 滑升模板的立模放样要求与一般分块浇筑的情况不同，要求上下保持严格的相对关系，因此，其精度标准与表 6.1.2 的规定不同。表 6.2.6 的精度引自《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规定》JGJ—91 表 7.7.17，将施工允许偏差的 1/2 作为测量的允许偏差。

6.2.7 叙述了高程放样的各种方法，这些方法，适用于各种不同的情况。由于高程与

平面位置在某些部位(倾斜面、曲面)有很强的相关性，因此在不同的部位进行高程放样时，其精度有很大的不同。要特别加以注意。

6.3 建筑物立模放样点的检查

立模放样点不同于开挖放样点，一旦有错，将会造成严重后果!规范在这里强调了各种检查方法，显然是十分必要的。

至于本节所列的检核方法，是否有效和正确，尚待实践检验。

6.4 建筑工程量测算

6.4.1 ~ 6.4.2 由于地形或地质情况的变化，基础开挖不能完全与设计断面相符，因此混凝土方量计算必须以基础实测开挖图为依据，而基础的上面部分，则是严格按照设计图纸施工的，方量自然应按设计图计算。

6.4.3 ~ 6.4.4 土石坝填筑的材料应该分开测算，因为它们的单价不同，同时也可以用来检查施工是否按设计的材料质量和数量进行。由于目前实行承包制，甲、乙双方往往在工程量的计算上发生争执，因此，规定一个 3% 的差异，以便双方协商解决。

6.5 资料整理

6.5.1 单项放样任务完成后，向施工单位或质检部门提供放样成果单正是许多单位习惯的作法，它已成为施工人员、质检人员据以作业或检查的凭证，也是日后竣工资料整理或质量事故调查的重要原始记录。因此，制定本条，极为重要。本条明确放样单应该包括的内容，目的是为了验收时能真正起到上述的作用。否则，如果内容欠详，项目不全，日后需要查阅，起不到应起的作用。

6.5.2 目前有些测量人员对整理资料重视不够，往往是放样工作结束，资料入柜，由于没有及时整理，容易造成资料丢失。如果发生了放样错误，也不易发觉，对于日后的竣工验收造成困难。因此规定及时整理资料是必要的。

7 金属结构与机电设备安装测量

7.1 一般规定

7.1.4 关于安装测量的精度指标，目前国内尚未见到有明确的规定。表 7.1.4 的内容是根据安装规范中有关安装允许偏差的规定，摘要综合而成。

7.2 安装轴线及高程基点的测设

7.2.1 本条指明安装轴线测设的精度指标应满足表 2.7.1 的规定，即不大于 10mm，这是指相对于邻近基本控制点而言的。

7.2.2 由于施工现场的干扰很大，根据过去的经验，往往会使已建立的轴线点与高程基点遭到破坏，本条就是结合其破坏的不同情况，采用不同的方法进行恢复的测设工作。

7.2.3 是对测设高程基准点提出的两点要求。

7.3 安装点的细部放样

7.3.1 说明安装测量工作精度要求的相对性，是一般施工测量的经验。

7.3.2 这是一般安装测量的方法与技术要求，在距离测量中提出了用光电测距仪“差分法”进行距离放样，这在目前广泛使用光电测距仪进行放样的情况下，是十分适宜的。所谓“差分法”是将测距仪设在需要测量距离的延长线上，测定测站点到两端的距离并相

减，就得到了所需距离。这样便消除了测距仪加常数的误差，从而提高了距离量测的精度。

7.4 铅垂投点

7.4.1 本条是参照《水工建筑物金属结构制造、安装及验收规范》的有关要求制定的。

7.5 安装测点检查与资料提交

本节各条系根据各工程局多年的实践经验而概括出来的基本做法与要求。

8 地下洞室测量

8.1 一般规定

8.1.2 本条根据《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》(SDJ212—83)制定的。在主斜洞贯通时，因其高程误差和量距误差对贯通均产生影响，因此将纵向贯通误差要求提高到横向贯通误差的要求去执行。

对于上下两端相向开挖的竖井，其贯通难度较大，故将贯通的极限误差放宽为 200mm。

8.1.3 测量误差对贯通的影响值，表 8.1.3 只考虑了三个测量误差因素，即洞外一个，洞内两个，并且是按等影响原则进行分配的。当通过竖井贯通时，应将竖井定向误差作为一个新增加的独立因素参加测量误差对贯通影响值的分配。

8.1.4 本条提出了下列几种横向贯通中误差的估算方法。

(1)洞外三角测量误差对贯通误差的影响，本条规定的估算方法与常规估算方法略有不同。

以相向开挖两洞口点 J 、 C 的局部相对点位误差椭圆在隧洞横向贯通面上的投影，作为洞外三角测量误差对横向贯通误差的影响，如图 8.1.4 所示。

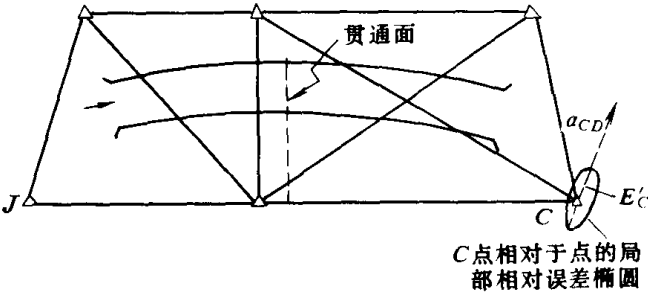


图 8.1.4 横向贯通中误差估算示意图

这样估算的方法有以下两点好处：

- a. 采用局部相对误差椭圆来估算横向贯通中误差，符合实际。
- b. 计算简单。
- (2) 洞内导线测量误差对贯通误差影响值的计算是近似方法。
- (3) 竖井定向测量误差对贯通误差影响值的计算是常用公式。

8.1.5 系常规方法。

8.1.6 系贯通测量设计的一般程序。

8.2 洞外控制测量

8.2.1 根据《铁路测量技术规则》的编写

说明所举的以严密公式估算的例子，以不同的隧洞长度，边长精度和测角精度计算贯通误差预期值如表 8.2.1。

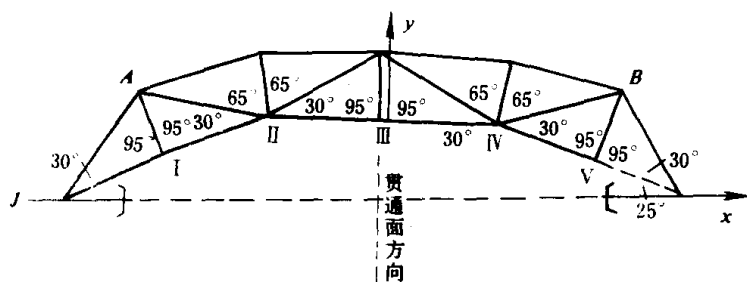


图 8.2.1 贯通误差预期值示意图

表 8.2.1 贯通误差预期值

隧道长度(km)	< 1.5	2		4		6		8
测角精度 m ()	4	25	2.5	2.5	2.5	1.0	10	—
起始边精度(m_b/b)	1/25000		1/50000					
贯通误差预期值 (mm)	26	24	24	45	33	43	27	35
贯通误差允许值 (mm)	30	30	30	45	45	45	45	45

用上表对照第 2 章三角测量技术规格,可以看出规范中表 2.2.4 规定的起始边精度比表 8.2.1 高,而测角精度一样。因此,是能够满足贯通要求的。

8.2.2 增加多余观测,以提高图形强度。在图形适当的地方增测测距边,或增加角度观测,对控制横向误差是会有益的。

8.2.3 关于隧洞地面控制网采用光电测距导线时,导线规格可在规范表 8.2.3 中选用。

选用时可以隧洞相向开挖的长度为基数,从规范表 8.2.1 中选择相应的控制网等级。然后由规范表 8.2.3 中选择相应等级的导线精度指标而付诸实施。

规范表 8.2.3 的数据也是根据 4.3.13 说明中所提出的公式计算的,不过它选择的最弱点中误差为 $\pm 30\text{mm}$ 和 $\pm 45\text{mm}$ 。

8.2.4 由于坝区控制网边长投影到坝区平均高程面上,因此,在坝区的短隧洞(如导流洞、泄洪洞等)无需再选择其它投影面,但在长距离的引水隧洞工程中,进出口高差大,为了保证贯通精度,隧洞控制网必须将边长投影至隧洞平均高程面上。

8.2.5 这是控制测量的一般作法。洞口点是将洞外控制(坐标、方向)传至地下的关键渠道,它的精度决定了地下控制的起算精度,因此本条作出的规定,是保证满足贯通精度要求的必要措施。

8.2.6 隧洞控制网,从进口往出口方向布设,所经之处,并非都有其它用途,在仅为了传递坐标的地区,标石的埋设当然可以简化一些,但在洞口(或支洞口)因施工测量放样的需要,必须埋设永久标石,对经常设站的点,应埋设混凝土观测墩。

8.2.7 高程路线最大长度按下式计算。

$$L = \left(\frac{m_h}{M_\Delta} \right)^2$$

式中 m_h ——洞内高程测量对竖向贯通的影响;

M ——高程测量每公里高差中数的偶然中误差。

表 8.2.7 根据隧洞高程贯通中误差的要求所规定的高程测量等级表

高程等级	二	三	四
M (mm)	± 1	± 3	± 5

$$L_{1-4} = \left(\frac{15}{M_{\Delta}} \right)^2 = \left(\frac{15}{5} \right)^2 = 9\text{km}$$

$$L_{4-8} = \left(\frac{20}{M_{\Delta}} \right)^2 = \left(\frac{20}{5} \right)^2 = 16\text{km}$$

上式计算表明，本条根据高程贯通中误差的要求所规定的高程测量等级是适宜的。

8.3 洞内控制测量

8.3.2 因为隧洞是通过不断的掘进而形成的，而在施工过程中需要进行施工放样，因此施工导线必须随时建立，而基本导线只有在隧洞掘进至一定长度后，才能予以布置，且基本导线要服从贯通误差要求的需要，边长应有一定长度。而施工导线必须跟着掘进面布设，太长了会给掌子面放样带来困难，所以规定为 50m 左右，由于施工导线，为直接放样开挖轮廓线的依据，必须保证其正确性，因此要进行重复 2~3 次的测量，以保证不出现差错。

8.3.3 由于洞内基本导线，在未贯通时，都是支导线，为了简化计算，本条用支导线端点的点位误差当作横向贯通中误差，这当然是偏于安全的。支导线端点的点位误差计算公式为

$$M_B = \pm \sqrt{m_s^2 n + \left(\frac{m_\beta}{\rho} L \right)^2 \left(\frac{n+1.5}{3} \right)}$$

只要 M_B 不大于表 8.1.3 中洞内导线横向误差(40mm)，就认为满足要求。

8.3.5 在隧洞施工放样中，经常遇到难于丈量距离的地段，如斜井，坡度较大的支洞等。实践证明，在没有测距仪的情况下，横尺是较好的量距工具。因此本条规定了分段丈量的中误差与基本导线边长的总误差之间的关系。设基本导线边长为 L ，分段长度为 s ，分段数为 n ，

则：

$$L = ns$$

微分得： $m_L = m_s \sqrt{n}$ ，则 $m_s = m_L \sqrt{n}$ 。

当 m_L 规定时，则可求得分段丈量应达到的精度 m_s 。

8.3.6 隧洞基本导线进行独立两组测量的必要性，一是反映在它要绝对保证不能有任何测量错误的发生，二是为了提高导线本身的精度，计算表明，通过两组测量，精度的提高是显著的。

8.3.7 由于通过曲线，一般导线边要短，会增加导线点的数量；通过竖井开挖贯通时，影响贯通的误差来源会增加一项竖井的定向误差；在通过斜井贯通时，其作业条件困难，三项贯通误差(纵向、横向、竖向)显得同样重要；而转角大于 30° 的平洞量距误差对横向贯通的误差影响也是大的，因此规定在这种情况下，导线应提高一级以保证贯通的精度。

8.3.8 洞内高程测量通过估算，一般布置四等即能满足要求，用其它方法测量也应保证达到同一精度要求，至于测两组的需要，其说明同第 8.3.6 条。

8.4 地下洞室施工测量

8.4.1 由于隧洞边墙衬砌一般都有密集的钢筋网，如果发生欠挖，会使钢筋绑扎发生

困难。因此，要求开挖轮廓点误差不大于 50mm 是适宜的。关于混凝土立模点的精度标准是相对于轴线点的，它相当于表 6.1.2 中的测量误差，不考虑轴线点的误差，因而是可以达到的。

8.4.2 串线法是用目测来决定方向的，在 5m 以内目测两组垂线在一条直线上的精度约为 ± 3 ，在 20m 范围内延伸瞄准方向时其误差：

$$m_{\text{串}} = \frac{180 \times 20000}{206265} \approx \pm 17 \text{ mm}$$

取 2 倍中误差亦只 $\pm 34 \text{ mm}$ ，满足开挖的精度需要。目前在长距离的隧洞开挖中，一般均在已开挖好的洞壁上安置激光管导向，这已是成功的经验，值得在洞挖中，结合具体情况广泛应用。

8.4.5 测绘竣工断面是工程建设与竣工验收的需要，本条规定的测量精度指标，是与测量放样的精度相适应的。

8.4.6 本条规定是为了便于运行期间的使用。

8.5 资料整理

8.5.2 ~ 8.5.3 本节规定是根据工程施工与竣工验收的需要制定的。

9 辅助工程测量

9.1 一般规定

9.1.2 由于辅助工程大部分在施工区以内，且设计单位已给定建筑坐标，因此应尽量利用已有的控制点进行施工放样。当辅助工程远离施工区域时，由于限制条件较少，在有利于施工放样的原则下，可布设三角锁或导线。坐标、高程系统可以假定。

9.1.3 在施工区外，由于线路较长，没有控制系统，它们一般属国家等级公路或铁路，用本章的规定不能满足要求，故须按有关专业规范执行。

9.2 筛分、拌合系统测量

9.2.1 轴线的测设不外乎交会法和导线法，所以可根据精度要求由第 4 章第 3 节任选。另一方面，因拌合、筛分系统自成体系，按目前各施工单位的经验，只要轴线在实地标定，就可以此轴线为准，进行细部放样。

9.2.2 是参考葛洲坝工程局机电处编印的《“3 × 2400”拌合楼基础允许偏差》及施工放样的实际情况制订的。

9.2.3 规定用导线来作皮带运输线的控制，为一般做法。定线的横向偏差，是根据皮带机最大允许偏差 50mm 而规定的。相邻点的高差测定误差规定为 10mm，为一般规定，容易达到。

9.2.4 由于筛分拌和系统细部高程放样的相对精度要求较高，而高程的绝对精度要求较低。因此，从整个建筑工程来讲，五等水准精度作为高程控制，足以满足整个施工放样的需要。

9.3 线路测量

9.3.2 所列技术指标，一是来自实践经验，二是参考《铁路工程测量规范》TBJ101—85 的内容制订。

关于最弱点中误差不大于 $\pm 100 \text{ mm}$ 和 $\pm 200 \text{ mm}$ ，是参照《公路设计手册》、《铁道工程测量学》的有关内容制定的。

9.3.4 由于支导线无闭合条件，缺少校核，对可能存在的错误无法发现，为此要求支导线必须加强校核，其方法是进行往返或同向两次观测。

9.3.5 ~ 9.3.7 根据方量计算和施工放样需要制订。

9.3.8 目的在于确定输电线路导线对交叉跨越的地(水)面、建筑物以及各种工程设施的最小垂直距离，使之互不影响，保证线路安全运行。

9.3.9 量测和测放出输电线对地面的最小垂直距离，以确保线路安全。

9.4 桥梁、缆机测量

9.4.1 为了简化控制方案，本条规定按桥的长度选择控制网的等级。由于桥长在 500m 以内，选择四、五等控制网，已能够满足点位中误差不大于 10mm 的要求。因此不必另设系列，参照第 2 章的规定执行即可。

9.4.2 桥墩放样的精度，是根据《隧道及桥涵测量》(人民铁道出版社出版)第 495 页表 28-1 的规定，取 1/2 作为桥轴线的相对中误差。桥墩的放样误差是根据该书 496 页第 9 项的说明确定的。这样规定，是经过理论分析后得出的，而且可以适用于 500m 以上的大桥。

9.4.3 在光电测距仪精度不断提高的情况下，对于小于 200m 的中小桥梁，由光电测距仪测定桥轴线长度是完全可以办到的。在桥轴线端点直接进行桥墩中心线位置放样，也是可以满足桥墩中心点位误差 10mm 的要求的。这样就可以不必敷设桥梁控制网，加快放样速度。

9.4.4 按本条(1)、(2)款的要求做，易于达到桥墩沿轴线方向的放样精度，(3)款是确保沿桥梁轴线方向的放样精度的具体措施。

9.4.5 根据《隧道及桥涵测量》第 538 页表 30-1 的规定，施工水准点的精度，在桥长为 500m 以下时，均以四等高程控制即可。

9.4.6 规范表 9.4.6 是根据龙羊峡、白山等水利水电工程的实践经验和参照《水工建筑物金属结构制造安装及验收规范》制定的。

9.4.8 两岸缆机轨道的高程放样精度要求不高，四等水准完全可以满足要求。但轨道水平度要求甚高，测量时应用钢板尺或红黑面水准尺。因为塔尺的底面凸凹不平，影响观测精度。

9.5 围堰、戗堤放样

9.5.1 由于围堰、戗堤轴线的放样精度要求不高，确定轴线点的点位误差相对于邻近控制点为 $\pm 50\text{mm}$ ，这对围堰、戗堤的进展和合拢不会产生影响。

10 施工场地地形测量

10.1 一般规定

10.1.1 由于工程管理和设计需要，施工阶段尚需增测施工场地的地形图、带状图、征地平面图、以及建基面岩石验收图等。

10.1.2 施工场地地形图，一般要求成图周期短，比例尺要求大，除建基面验收时，要求 1:200 比例尺外，其它用图 1:500 ~ 1:2000 比例尺地形图，已能满足工程需要。

10.1.5 利于工程管理和设计、可与枢纽工程有机地联系起来。

10.1.6 考虑到工程用图的实际，将地形类别分为四类，与《工程测量规范》相同。1:200 比例尺地形图，地形起伏较小，故将等高距规定为 0.25 ~ 0.5m，以便显示地貌变化。

10.1.7 规范表 10.1.7 中的一些限值的规定，已能满足水利水电工程施工用图需要，同

时亦是多数规范沿用的规定(参照了《工程测量规范》)。现仅对 1:200 基建面地形图的有关问题说明如下。

(1)地物点的平面精度估算公式：

$$m_{\text{物}}^2 = m_{\text{站}}^2 + m_{\text{测(纵)}}^2 + m_{\text{测(横)}}^2 + m_{\text{卡}}^2 + m_{\text{刺}}^2 + m_{\text{整}}^2 \quad (10.1.7-1)$$

$$m_{\text{测(纵)}} = S \left(\frac{m_s}{S} \right) \frac{1}{M} \quad (10.1.7-2)$$

$$m_{\text{测(横)}} = S \left(\frac{m_a}{\rho} \right) \frac{1}{M} \quad (10.1.7-3)$$

式中 $m_{\text{物}}$ ——地物点位置中误差，图上 mm；

$m_{\text{站}}$ ——测站点点位中误差，图上 0.2mm；

$m_{\text{测(纵)}}$ ——地物点测量的纵向中误差；

$m_{\text{卡}}$ ——卡取距离的中误差，取图上 $\pm 0.1\text{mm}$ ；

$m_{\text{刺}}$ ——刺点的中误差，取图上 $\pm 0.1\text{mm}$ ；

$m_{\text{整}}$ ——地形图整饰的中误差，取图上 $\pm 0.15\text{mm}$ ；

S ——视距长度，取 30m；

$\frac{m_s}{S}$ ——视距相对中误差，取 1/250；

$\frac{1}{M}$ ——测图比例尺，取 1/200。

从而计算得 $m_{\text{测(纵)}} = \pm 0.6\text{mm}$ 。

$m_{\text{测(横)}}$ ——地物点测量的横向中误差；

m_a ——方向误差，取 $\pm 3''$ ；

ρ ——3438；

从而计算得 $m_{\text{测(横)}} = \pm 0.13\text{mm}$ 。

将以上数据代入(10.1.7-1)式，计算得出： $m_{\text{物}} = \pm 0.68\text{mm}$ ，此结果小于本条规定为 $\pm 0.75\text{mm}$ 的要求。

(2)地形点高程精度估算公式：

$$m_h^2 = m_{\text{地}}^2 + m_{\text{测}}^2$$

$$m_{\text{测}}^2 = S^2 \left[\frac{1}{4} \left(\frac{m_2}{S} \right)^2 \sin^2 2\alpha + \left(\frac{m_a}{\rho} \right)^2 \cos^2 2\alpha \right] + m_i^2 + m_c^2 \quad (10.1.7$$

-4)

式中 m_h ——地物点高程中误差；

$m_{\text{地}}$ ——测站高程中误差，一般取 1/6 基本等高距(即 $\pm 0.04\text{m}$)；

$m_{\text{测}}$ ——测量中误差；

S ——视距长度，取 30m；

$\frac{m_2}{S}$ ——视距相对中误差，取 1/250；

α ——垂直角；

m_a ——垂直角测角中误差，取 $\pm 1''$ ；
 $\frac{1}{3438}$ ——

m_i, m_c ——仪器高、觇标高量取中误差，均取至 $\pm 0.01\text{m}$ 。

利用不同数值的垂直角，代入式(10.7.7-4)计算出相应的地形点高程中误差 m_h ，见表 10.1.7。

表 10.1.7 相应地形点高程中误差表

视距长度(m)	视距相对中误差	垂直角(°)	计算 $m_h(\text{m})$	允许 $m_h(\text{m})$
30	1/250	6	0.045	0.083
		10	0.048	0.083
		15	0.053	0.083
		20	0.058	0.083

注：允许 m_h 为 1/3 基本等高距。

由上表可以看出，按本规范的要求进行作业，地形高程精度完全能满足限差要求。

10.1.11 在不同测站测图时，最大视距测得的地形点能够衔接。本条规定的控制点数量，为每幅图的最低数量，如用光电测距仪配合测图，还可适当减少。

10.2 建基面 1:200 比例尺地形测量

10.2.1 参照《水利水电工程勘测设计阶段测量规范》的有关规定制订的。结合水利水电工程施工的特点，各工序衔接很紧，能进行测图的时间较短，故将图根点的点位精度略放宽一些。

10.2.2 根据地物点位置中误差不得超过图上 0.75mm 的规定，对于 1:200 的建基面地形图则要求地物点的误差不能超过 15cm，用视距法是难以达到的。因此，必须采用光电测距仪极坐标法或经纬仪加钢尺量距法。

10.3 1:500 ~ 1:2000 比例尺地形测量

本节规定是参照《水利水电工程规划设计阶段测量规范》制定的。

10.3.5 采用地面立体摄影测量方法成图，可按《水利水电工程规划设计阶段测量规范》的有关章节执行。

11 疏浚及渠堤施工测量

11.1 一般规定

11.1.1 规定本章的适用范围。

11.1.2 疏浚施工测量的内容，是根据疏浚工程的实际情况规定的。

11.1.3 疏浚、渠堤等各种工程的控制系统是不同的。疏浚工程一般是远离城市的独立施工区。施工范围可能沿着河道延伸很长的距离，但精度较低，因此，一般利用勘测设计阶段的控制点成果即可。当原有成果或点位遭破坏时，也可从附近的国家三角点和水准点，以较低的精度引测。

渠堤工程的特点是：施工范围狭长，平面位置精度要求不高，但高程精度要求较高，因此平面位置可采用低等级的三角网或导线联测，而高程则应以国家等级水准的精度引测。但同样仍应尽量利用原有的勘测设计阶段的成果。

11.2 水深及水下地形测量

11.2.1 关于水尺设置的几点说明。

(1)河流比降为 1/10000 的河段，每公里有 0.1m 的水位差，这相当于水尺读数的精度。因此，规定每公里只设一组水尺就够了；比降大于 1/10000 的河段水位差可能达到 0.2m，所以每 500m 应设立一组水尺。

(2)由于水尺易被风浪冲坏，为了保证水尺观测的连续性，则应有备用的水尺。相邻水尺应有一定的重合度，也是为了使水尺观测工作能够连续进行。

(3)若水尺远离施工船只，传话听不到时，应采用悬挂信号或采用其他通讯设备通报水位数字。这是因为在施工中，随时都要掌握水位的变化情况。

(4)永久性水尺主要是用于长期观测河流比降，其水位观测值的精度要求较高。设比降值的相对误差为

$$\frac{m_i}{i} = \frac{10}{100}, \text{则: } \left(\frac{m_i}{i}\right)^2 = \left(\frac{m_h}{h}\right)^2 + \left(\frac{m_l}{l}\right)^2$$

$\frac{1}{10000}$ 比降的河流中两相邻水尺之高差值为 0.1m。

$\frac{1}{2000}$ (即 $h=0.1\text{m}$ ，其距离相对误差为 $\frac{1}{2000}$)，则求得 $m_h = \pm 0.01\text{m}$ 。因此，规定永久性水尺的高程联测，应采用不低于四等精度的水准。

施工性水尺，只用于局部施工测量，采用五等水准即能满足要求。

11.2.3 关于水深测量的几点说明：

(1)本款规定的目的是为了使作业人员了解各种测深工具的适用范围和所能达到的精度，便于正确选择。规定的依据是实际使用中的经验总结和有关测深工具的说明书。

(2)测深点的密度是根据地形变化确定的，但由于水下地形点，肉眼看不见，因此按陆地上的规定为图上 1~3cm 一点，但考虑到河床中间较平坦，两岸变化大，以及纵向变化小，横向变化大等特点，在上述部位应适当加密。

(3)关于测深精度的规定。

在一般情况下，常采用测绳或测杆测量水深。令其一次测深中误差为 m 则：

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2$$

式中 m_1 ——测绳(杆)的刻划及伸缩误差，一般为 0.01m；

m_2 ——读数误差，取 0.05m；

m_3 ——水位读数误差，取 0.05m；

m_4 ——波浪影响读数误差，取 0.05m；

m_5 ——比降改正误差，取 0.05m。

测绳(杆)的倾斜，另有改正数。

故 $m = \pm 0.087 \sim 0.1\text{m}$ 。

取该值的 2 倍作为限值，即为本条规定的测深中误差。

(4)关于平面位置中误差的规定。

影响平面位置精度有两个主要误差因素：

a.由于测船不稳定，交会时误差较大。

b.交会点标志和测深点往往不在同一位置，因此，此规定比陆地测量的同类误差放宽了 2~3 倍。

(5)关于测深点的定位方法系常规作法。

11.2.4 便于陆上和水下地形图的衔接。

11.3 疏浚施工测量

11.3.1 规范表 11.3.2 中规定,施工放样的定点精度应在 $\pm 0.5 \sim \pm 1.0\text{m}$ 之间,现取 $0.45 \times \pm 0.5 = \pm 0.23\text{m}$,作为放样测站点的点位中误差。本规范规定测图的测站点对于邻近图根点的点位中误差应小于或等于 $\pm 0.3\text{mm}$ (图上),即 $\pm 0.3 \times 1000 = \pm 0.3\text{m}$,稍大于 $\pm 0.23\text{m}$ 。但两岸边定点精度远比水上其他位置的定点精度为高。这一规定,兼顾了定点的远近和定点精度的高低。

在 11.2.8 中规定测深中误差不大于 $\pm 0.2\text{m}$,取 0.2m 的 45% 作为放样测站点高程中误差,即为 $\pm 90\text{mm}$ 。第 3 章规定五等水准往返闭合差为 $\pm 30\sqrt{L}$,反求得 $L=9.0\text{km}$ 。《水利水电工程规划设计阶段测量规范》规定测站点的高程精度对于邻近加密高程中误差,应不大于 $1/6$ 基本等高距。本规范对于 $1:500$ 的地形图,规定等高距为 0.5m ,则 $0.5 \times \frac{1}{6} = 9\text{cm}$ 。

1:2000 的图幅周长只有 4km ,故用五等水准测量来作高程控制点,是完全能满足测图要求的。

11.3.2 根据设计要求和放样所达到的实际精度制订。

11.4 渠堤施工测量

11.4.1 选线、定线测量是规划设计阶段的工作,但有时也有可能由施工单位一起做,因此,本条指出了应该遵守的规范。

11.4.2 规划阶段的横断面间距为 $100 \sim 200\text{m}$,而施工阶段的横断面间距为:直线取 $30 \sim 50\text{m}$,曲线取 $10 \sim 30\text{m}$,这是考虑到能够精确计量而规定的。

关于渠道中心线测定中误差不大于 $\pm 200\text{mm}$,是指由附近的导线点或图根点放样渠道的转折点的点位误差。当转折点确定以后,两转折点之间的中心桩,应该保持在一直线上。

11.4.3 渠道定线时,在拟建水工建筑物部位(渠首、渡槽等)埋设固定标志是为了建筑物施工放样之用。若整个建筑物的绝对位置误差达到 $\pm 200\text{mm}$,在施工时,只要保持建筑物内部的相对精度,就无损于建筑物的正常运行。

11.4.6 渠道的平面位置的测定精度要求不高,但高程精度一定要保证,因为渠道的功能是输水,故渠道中心桩的高程测量精度不能低于五等。根据第 3 章的规定,五等水准的精度为 $\pm 30\sqrt{L}$,当渠道长度为 10km 时,高程误差约为 $\pm 100\text{mm}$,这对于渠道的正常运行不会产生多大的影响。

11.5 工程量计算与竣工验收测量

11.5.1 疏浚地区,往往由于大雨冲刷或回淤,影响疏浚工程量。为了正确计算工程量,必须进行测量并上报回淤量。

11.5.2 在土方施工中,常由于暴雨造成土方流失,因此,应根据土况等确定流失系数。在工程量计算中统一考虑,这样比较符合实际情况。

11.5.5 对渠道竣工测量规定了横断面测量的要求。竣工断面的间距、比例尺、精度应与原始断面一致。断面图上画出三条线的目的是便于检查施工质量和工程量的计算。

12 施工期间的外部变形监测

12.1 一般规定

12.1.1 ~ 12.1.2 明确了本章规定所适用的范围和施工期间变形监测的内容。

12.1.3 目前，还没有见到有关施工期间临时性变形观测位移量限差的规定。表 12.1.3 的内容是根据以下原则确定的：

- (1)参照《混凝土大坝安全监测技术规范》(SDJ336—89)表 3.1.1 的规定进行适当调整。
- (2)根据各个项目的变形特点，以能够观测到危及安全的变形为限。
- (3)考虑到目前施工单位的技术和仪器设备状态，本着作业简单，能够较快获得变形资料为目的。

12.1.4 由于施工控制网一般都达到了四等以上的精度，而变形观测的观测量是位移量，是两期坐标的差数，因此，基点的误差不会影响位移量的大小，四等网的精度已可以满足要求。

12.2 选点与埋设

12.2.1 ~ 12.2.2 关于选点与埋设的规定，目的是为了使工作基点能够长久稳定，而变形测点能够充分、灵敏地反映变形速率及变形量的大小。

关于视准线测点偏离基准线不大于 20mm 的规定，是受活动觐牌刻划长度的限制，目的是为了在允许变形的范围内仍然能够在活动觐牌上读数。

12.3 观测方法的选择和现测的技术要求

12.3.1 表 12.3.1-1 中交会角 及边长限值规定，是由下面精度估算公式决定的。

- (1)测角前方交会(只测 、)
由：

$$M_p = \pm \frac{m_\beta}{\rho''} \cdot \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{\sin \gamma}$$

(12.3.1-1)

$$S_1=S_2=S$$

设
则

$$M_p = \pm \frac{m_\beta}{\rho''} \cdot \frac{\sqrt{2}S}{\sin \gamma}$$

(12.3.1-2)

表 12.3.1-1 交会角 及边长限值的规定

边 长 (m)	<div><div><div>$M_p(\text{mm})$</div><div>$m''_{\beta}('')$</div></div><div>$\gamma(^{\circ})$</div></div>	20	30	40	50	60	70	80	90	…160	要求精度
200	$\pm 1''.0$	4.0	2.7	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4	对称	$\pm 3\text{mm}$
	$\pm 1''.8$	7.2	4.9	3.8	3.2	2.8	2.6	2.5	2.5		
	$\pm 2''.5$	10.0	6.8	5.3	4.5	4.0	3.6	3.5	3.4		
250	$\pm 1''.0$	5.0	3.4	2.7	2.2	2.0	1.8	1.7	1.7	对称	$\pm 5\text{mm}$
	$\pm 1''.8$	9.0	6.2	4.8	4.0	3.6	3.3	3.1	3.0		
	$\pm 2''.5$	12.5	8.6	6.7	5.6	4.9	4.6	4.4	4.3		

- (2)测边前方交会(只测 S_1 、 S_2)
由：

$$M_p = \pm \sqrt{\frac{m_{s1}^2 + m_{s2}^2}{\sin^2 \gamma}} \quad (12.3.1-3)$$

设
则

$$m_{s1}=m_{s2}=m_s$$

$$M_p = \pm \frac{\sqrt{2}m_s}{\sin \gamma} \quad (12.3.1-4)$$

测边交会，虽与边长无关，但距离过长，会使测距仪的比例误差增大，气象数据误差的影响也增大，因此表 12.3.1-2 中边长规定为 500m 和 1000m 两种。

表 12.3.1-2 测边前方交会限值的規定

	10 ° °	20 °	30 °	40 °	50 °	60 °	70 °	80 °	90 °	100 °	要求精度
2mm 对称	16.3	8.3	5.6	4.4	3.7	3.3	3.0	2.9	2.8	2.9	± 3mm
3mm 对称	24.4	12.4	8.5	6.6	5.5	4.9	4.5	4.3	4.2	4.3	± 5mm
5mm 对称	40.7	20.7	14.1	11.0	9.2	8.2	7.5	7.2	7.1	7.2	± 10mm

(3)边角前方交会(测角 、 又测边 S_1 、 S_2)

由：

$$M_p = m_s \sqrt{\frac{2S^4 + 2 \cdot K \cdot S^2}{S^4 \cdot \sin^2 \gamma + 2 \cdot K \cdot S^2 (1 + \cos^2 \gamma) + K^2 \cdot \sin^2 \gamma}} \quad (12.3.1-5)$$

$$K = \left(\frac{m_s}{m_\beta} \right)^2 \cdot \rho^2$$

式中

设 $S_1=S_2=S$ ，计算结果见 12.3.1-3 表。

表 12.3.1-3 边角前方交会限值的規定

m_s (mm)	m_β (")	M_p (mm)	γ													要求精度 (mm)
		S (m)	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	...170°			
±2	±1.8	500		3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.6	2.6		±3	
		700		4.4	4.1	3.8	3.4	3.1	2.9	2.7	2.7		对 称			
		1000		6.0	5.2	4.4	3.8	3.4	3.1	2.9	2.8	2.7				
±3	±2.5	500		4.7	4.6	4.5	4.3	4.4	4.0	3.9	3.8	3.8		±5		
		700		6.2	5.9	5.4	5.0	4.6	4.3	4.2	4.0	4.0	对 称			
		1000		8.4	7.4	6.4	5.6	5.0	4.6	4.3	4.2	4.1				
±5	±5.0	500		9.1	8.8	8.3	7.8	7.3	7.0	6.7	6.6	6.5		±10		
		700		12.1	11.0	9.9	8.9	8.1	7.5	7.1	6.9	6.8				
		1000		16.2	13.7	11.4	9.7	8.6	7.8	7.3	7.0	6.9	对 称			
		1200		18.7	15.0	12.1	10.0	8.8	7.9	7.4	7.1	7.0				

规范中表 12.3.2 的规定，是基于以下考虑：

a.小角度法。由于测角中误差而引起的横向中误差计算公式为

$$m_s = \frac{m_\beta S}{\rho''} \tag{12.3.16}$$

将规范中表 12.3.2 的视线长度 S 和相应的测角中误差 m_β 代入式(12.3.1)得

$$\pm 1.0 \times 500/206265 = \pm 2.4\text{mm}$$

$$\pm 1.8 \times 600/206265 = \pm 5\text{mm}$$

$$\pm 2.5 \times 800/206265 = \pm 9.7\text{mm}$$

于是可以满足 3mm、5mm 和 10mm 的要求。

b.活动觇牌法。考虑到活动觇牌法的照准精度比小角度法低一些，因此将视准线长度适当缩短。

12.3.5 由于视准线的测点偏离基准线，距离不大于 20mm。同时，基点与视准线测点基本上在一个高程面上，垂直角不超过 3°，因此小角度观测法可不纵转望远镜，仅在度盘的一个位置，用测微鼓量测小角。

12.3.6 若垂直角大于 3° 时，纵轴倾斜误差会显著影响水平角观测精度，且无法在度盘的两个位置读数中加以消除，因此，遇到上述情况时，要读定气泡偏离值，并进行纵轴倾斜改正。

12.3.7 关于垂直位移观测，一般采用几何水准法能够保证精度。但对于滑波、高边坡等观测部位，有时测量人员不能到达或不够安全，因此，本条规定可用光电测距三角高程法。

12.4 资料整理

本节内容是参照《混凝土大坝安全监测技术规范》(SDJZ336—89)制定的。

13 竣 工 测 量

13.1 一般规定

本章规定是按照原部颁《水利基本建设工程验收规程》(SD184—86)并参照原水利部(79)基字第 26 号文《葛洲坝工程大江截流前验收工作施工办法(草案)》的精神制定的。

13.1.1 竣工测量主要项目,是根据目前大中型水利水电工程竣工测量的实际工作内容规定的。本条强调了竣工测量是施工测量的重要内容,施工测量人员应充分的重视。

13.1.2 竣工测量的精度指标,明确指出一般不应低于放样的精度,其目的充分反映施工质量。

13.1.3 本条系根据多年实践经验制定的。

13.1.4 为了使所提供的竣工测量资料,满足工程管理及设计单位的要求。

13.2 开挖竣工测量

13.2.1 建基面地形图的性质主要反映建筑物建基面实际的情况,为了使实测建基面地形图与设计图相配合。因此,图上应反映出建筑物的开挖设计线和分块线,以便于设计、施工单位使用。

13.2.2 根据以往的经验,本节所提的开挖竣工断面测量的技术要求,符合设计要求,在实施中可与设计图对应。

13.2.3 测绘锚杆立面图或平面图是工程建设竣工验收的需要。

13.3 填筑竣工测量

13.3.1 为了真实地表示填筑的形象变化,其测量的比例尺应不小于施工放样详图可以满足设计单位的要求。

13.3.3 ~ 13.3.4 都是重点强调“逐层进行形体测量”以防止漏测,保证资料的完整性。

13.4 过流部位的形体测量

13.4.4 由于竣工测量资料的精度,一般要求达到厘米级,仅用图表不能反映出来。因此,还须提供三维坐标。

13.5 资料整编

本节的规定是根据中华人民共和国专业标准《测绘产品检查验收规定》(ZBA75002—89)的要求结合目前实际情况而制定的。