

场对部分数据进行补测或重测,对需补测或重测的观测时段或基线,要具体分析原因,有针对性的解决问题。

**5.5.22** GPS 控制网平差前,对搜集到的原始起算数据进行精度评定和可靠性分析检查,做到应用数据可靠,确保平差时起算点的精度要求。

**5.5.23** 输电线路 GPS 测量成果要求相对精度较高,为了整个工程建网与外界联测,以及作为检测质量分析的可靠依据,仍有必要规定起始单点定位较高的精度。

**5.5.24** 无约束平差时,根据外业作业期的分期、作业技术要求的不同,可以分成若干子区,分别进行无约束平差,并对每一系统误差参数进行显著性检验,剔除含有粗差的基线边。

**5.5.25** 利用无约束平差后的可靠观测量,选择在 WGS—84 坐标系(必要时)、国家坐标系或地方独立坐标系下进行三维约束平差或二维约束平差。平差中,对已知点坐标、已知距离和已知方位,进行强制约束。

**5.5.26** 数据处理成果整理应对数据结果进行技术分析,包括精度统计、平差使用软件名称及版本号,还有 GPS 设备型号及状态和编号等内容。

**5.5.27** 测量专业要求提交的资料应体现本阶段主要的工作成果,根据各单位有关专业与测量专业达成共同约定,提交的 GPS 测量成果内容不强求统一,以满足用户要求为原则。

GPS 外控成果报告内容一般包含 5 个方面:工程概况(含任务、测区、勘测阶段及技术依据等);资源概况(含人员、设备及对原有资料的分析、利用等);作业概况(含布网、观测、作业中问题,数据检验及数据处理等);提交成果及资料目录;其他问题。

## 5.6 像片调绘

**5.6.1** 在航摄像片上,根据成像规律和影像特征(影像的形状、大小、色调、阴影、纹理、图案、相关位置和人类活动规律等),对地物

地貌的内容、性质、特征及名称等进行辨认并确定影像所代表的内容、识别出地表面上相应物体的性质和境界,称之为像片判读。依据像片判读技术,补充和完善航摄像片信息内容的工作称之为像片调绘。像片调绘主要是确定地物、地貌的类别和性质。调绘范围为路径走廊内线路中心左右各 300m。

**5.6.2、5.6.3** 像片调绘应以室内判读为主,只将遗留的难点放到野外调绘去解决。野外调绘重点是放在交叉跨越、平行接近、新增地物、变化地形和微地物、微地貌及其他地物。

调绘内容主要归结为确定平面位置和高度两项。一般只采用简单工具(立体镜、刺点针、皮尺、小钢卷尺、花杆和带分划的长竹杆等),特别需要时才采用仪器实测(如处于临界值的交叉角、转角度;较高的跨越高度;变化地形和新增地物的补测等)。

其他地物主要是指采石场、矿场、地下管道、电视发射台、微波站、坟、庙宇、大榕树以及文物古迹等。

**5.6.4~5.6.7** 对重要交叉跨越,电压等级超过 35kV(包括 35kV)的电力线跨越的位置,还需通过调绘将杆塔平面位置准确刺出。应采用仪器实测其杆塔高度,如设计有要求时应测量路径跨越电力线的弧垂点的高度。

对于 10kV 及以下电力线,等级通信线、架空光缆、架空索道等架空地物,调绘跨越点线高及杆高。对于一般其线高及杆高在 10m 以下,可以采用花杆或竹杆直接量取。对于 10kV 及以上电力线,考虑到安全生产应采用仪器实测。一级、二级通信线及地下电缆与线路的交叉角接近临界值时,应采用仪器实测。当线路与交叉跨越物的交叉角较小时,其中线与边线的跨越点可能相距较远。因此,边线的跨越以及风偏影响往往会被疏忽。所以,调绘时要特别注意这些问题。

**5.6.8~5.6.10** 为确定平面位置的有关调绘内容要求说明如下:建(构)筑物的用途是区分住人、仓库或是牲口圈;道路含公路和铁路,公路路面材料应区分水泥、沥青或砾石;水系含河流、湖泊和水

库等;经济作物如甘蔗、果树和茶树等;特别森林的调查调绘工作应在像片上相应位置标出树木的种类、平均密度和高度。调绘片上应有调绘者的签署和调绘日期,便于对事情的追溯和资料完整性的要求。

## 5.7 航片扫描

**5.7.2 航片扫描**首先按技术设计分析,确定扫描分辨率;然后,测定影像灰度并作线性变换调整,使整幅影像灰度直方图基本呈正态分布。同一航线或整个摄区如影像色调基本一致,可采用首、尾片及中间一片进行测试,如果结果相近,则取中数作为统一的扫描参数使用。否则应分区、分段甚至分片调整其灰度直方图。

**5.7.3 航片扫描前**应检校扫描仪,检校内容包括平台校准、几何校准、辐射检校和色彩平衡检校。

**5.7.4** 在保证全部框标影像齐全的前提下,缩小扫描范围,减少影像数据量。

## 5.8 空中三角测量

**5.8.2 空中三角测量**所需的资料可归结为:航片资料、外业资料 and 搜集的资料等三大部分。

**1 航片资料:**扫描的数据影像文件;航摄影技术数据表及鉴定表和航摄质量鉴定书等文件,一方面让作业员了解和掌握航片整体的摄影质量情况以及各张像片的具体质量情况(如倾角、旋偏角及重叠度等),另一方面为作业员提供必要的输入参数(如主距、航高、内方位元素,镜头畸变差等数据)。

**2 外业资料:**包括控制和调绘的资料及像片。控制成果是空中三角测量的数学依据。控制观测及计算手簿、控制片、调绘片等,是供空中三角测量成果分析及差错处理的备查资料。

**3 搜集资料:**包括地形图及测区已有的控制成果资料。已有控制成果资料供查处外业测量差错之用。

空中三角测量作业员,在接受上述三方面资料之后,应检查资料项目与内容是否齐全,并分析这些资料是否能满足内业加密和测图的要求。

**5.8.4** 根据数字摄影测量系统的要求,按照本标准布置加密点的位置,不允许上、下排点的数量不均匀。外业控制点选刺目标为明显地物点,在量测必须依据外业控制片上的说明、点位略图及刺孔进行综合判断,然后采用立体量测。

**5.8.6** 像点坐标量测的定向方法,通常采用解析框标定向。像点的量测一般采用自动相关方法量测,对于区域网,航带连接点采用手工相关方法量测。

**5.8.12** 有关空中三角测量成果分析及处理的问题说明如下:

1 当内业方面的观测点,外业成果转抄与输入和摄影参数数值(如主距、框标值、摄影比例尺)等出错时,必须更正并重新用仪器量测和计算。

2 当外业控制点刺错,应根据点位说明与略图结合像片上目标影像进行重新量测计算。外业控制点计算错或成果转抄错的,应更正并重新计算。

3 错点改刺应在排除了内、外业观测和计算的错误之后进行。改刺时应按误差的方向、大小所提供的范围进行改刺;改刺后的点位应与外业刺孔略图及说明基本相符;经重新观测、计算以后,平面和高程的不符值应在限差以内。

## **5.9 建立路径三维数字模型**

**5.9.1** 调绘资料输入后,形成的电子文档应能够在三维可视环境中显示相应的信息。

**5.9.2** 制作数字地面高程模型能提取概略平断面图。

## **5.10 三维数字模型路径优化**

**5.10.1、5.10.2** 利用正射影像,叠加上等高线、坐标线以及调绘

的电力线、通信线等信息形成供选线用的全数字影像地形图。在三维可视环境中,在设计路径时,设计人员可很直观看清建筑物、河流、交叉跨越等地物的属性以及地表的现状,植被覆盖的程度,还可根据测量人员和地质人员提供的信息,判断较为特殊的地质现状,从而合理避让,优化路径。

**5.10.3、5.10.4** 根据数字地面高程模型生成概略平断面图后,配合设计人员根据设计参数排位。然后根据塔位位置,逐级检查塔位地形,量测塔基坡度,判断塔位是否合理,路径是否成立。

**5.10.5** 选择路径后,量测线路两侧房屋偏距和面积,根据设计要求统计房屋面积等情况,绘制房屋面积图。

## **5.11 提交的成品资料**

**5.11.1** 由于各单位专业配合分工及各工程自身特点不尽相同,设计人员对测量专业要求提交的资料有所增减,但应以满足任务书要求为原则。本条规定了提交资料的内容及要求,作为施工图设计阶段重要的输入性文件和资料。

测量技术报告是对整个工程测量工作的全面阐述,重点是说明测量的方法、精度、工效以及尚待深化研究的问题,总结经验,使输电线路工程测量水平不断地提高。

## 6 施工图设计阶段测量

### 6.1 一般规定

6.1.1 明确施工图勘测阶段完成测量成品资料目标就是满足勘测任务书要求,实地布设的桩位为施工放样考虑的要求。

6.1.2 工序的设置和优化是在满足成品资料精度和可靠性前提下进行。

6.1.3 说明了各测量成品内部的关联性、主辅关系,强调了数据一致性,图面符号的识别性。

6.1.4 规定了测量交叉跨越点、断面点、风偏点高程中误差。明确了各类数据注记取位的要求。

6.1.5 对采用 RTK GPS 进行各类测量的观测条件、测量精度和记录内容进行了统一规定。理论分析同步观测到 4 颗卫星就能满足 RTK GPS 的要求,实际上由于各种接收机性能不一样,RTK GPS 受瞬间各种因素干扰的影响较大,往往精度指标难以达到要求。所以强调要起码同步接收到 5 颗卫星以上。

6.1.6 RTK GPS 放样直线桩、塔位桩宜在同一直线段内的采用同一基准站进行主要是为了减弱更换基准站时,不同的观测条件对不同参考站放样的两相邻直线桩或塔位桩带来的多种误差对其相对坐标精度影响。强调了更换基准站时的检测要求和精度指标。

### 6.2 选线测量

6.2.1 选线工作内容及深度规定要求使用全站仪、经纬仪或 GPS 主要提高了选线的精度,并要求为定线提交准确的数据。为了保证协议区选定路径或坐标放线的准确性,应具备测量控制资

料或地形图,设计人员应在现场指明相对位置。

**6.2.2** 对于室内使用小于 1:10000 比例尺地形图,获取转角坐标中误差大于 10m,且转角间影响线路的地形地物,图上没有或难以确定具体位置的选线环境,适合采用全站仪、经纬仪选线。规定了选线的仪器测角精度测距精度等级要求。

**6.2.3** 规定了采用全站仪、经纬仪选线的方法、精度要求。

**6.2.4** 引线桩是全站仪、经纬仪选线时,在转角前后直线方向设置的,为了引导全站仪、经纬仪直接定线的桩。

**6.2.5** 明确了采用全站仪、经纬仪选线提交资料的要求。

**6.2.6** 现场落实路径,就是确认像片路径在实地是否成立。通常在像片上经过权衡比较、反复优选结果,像片路径基本上在实地是可以成立的。但是,有一些微地物、微地貌和不良地质现象等,在室内判读时被遗漏或者难于判读准确。另外,在摄影之后还可能新增一些建(构)筑物和人工地貌等。因此,在室内像片选线之后,还需到现场落实地面路径,确保路径既经济合理又安全可靠。

**6.2.7** 规定了采用 GPS 现场落实路径方法选线的起始数据控制。

**6.2.8** 到现场落实转角点和路径,包括反复调整路径和转角位置。

**6.2.9** 规定选线测量时转角测量精度指标。转角放样精度主要也是满足内业选线成果放到实地的精度、保证内业平断面图数据精度要求。不强调满足定线的精度要求,因定线时会重新测量转角坐标值。

**6.2.10** 方位桩是 GPS 选线时,为了全站仪、经纬仪直接定线时,使用坐标值反算坐标方位角放样直线桩而设置的桩。设置方位桩目的是为后续采用全站仪,利用这些点坐标值反算坐标方位角就可直接进行定线测量。方位桩一般不在直线上,每个方位桩点,至少要与邻近转角桩点相互通视,应有坐标值。

**6.2.11** 规定了采用 GPS 现场落实路径方法选线给下道工序(定线或定位)提交成果内容。

## 6.3 定线测量

### 6.3.1 基本技术要求。

1 规定了定线测量的几类基本方法:

1)直接定线就是使用全站仪(经纬仪)通过正倒镜分中方法或角度分中法延伸确定直线桩的定线。

2)间接定线就是使用导线、矩形等图形传递直线称为间接定线,并获得直线桩的累距、高程。

3)RTK GPS 定线就是使用 GPS 直接确定直线桩位置,测量直线桩的坐标、高程,并获得直线桩的累距、高程。

2 GPS 结合全站仪交替定线,要对交替的地方进行检查测量。应保证不同定线方法直线性都精度满足  $180^{\circ} \pm 1'$  指标。

3 直线桩是用来控制线路的直线方向、距离、高程的,为施测平断面、交叉跨越、测定塔位之用。所以在设置直线桩时必须坚持综合考虑,力求兼顾的原则。要防止桩间距离超长,对其他测量工序的不利。桩间距离的控制,在平丘地区应以方便施测平断面和定塔位为主。在山区由于档距较大,可根据制高点及兼顾施测平断面、塔位位置选择桩位。

4 规定直线桩(Z)、转角桩(J)编号所用的拼音字母是由有关部门制定的规范要求而定的。标桩规格可据地方差别、工程的具体情况,因地制宜执行。

6.3.2 规定了采用全站仪(经纬仪)定线的两种方法、作业要求。

6.3.3 本条规定的内容,是通过工程实践中总结出来的。GPS 在线路航测中的应用,除了应用于航线控制测量,转角点及其方位桩点测量、直线辅助桩点测量和落实路径测量等之外,GPS 还应用于线路航测中的另一方面,就是利用 GPS 转角点及其辅助桩点,标定出路径直线方向,采用全站仪(经纬仪)并按此直线方向进行定线测量。

定线测量采用正倒镜分中法,逐个桩点延伸直线直至附合到



另一端的 GPS 转角桩点上。当附合不上时,量取其横向偏距,称为定线偏距误差记为  $\Delta d$ 。

在工程实践中,由多个转角段的定线偏距误差  $\Delta d$ ,计算出的利用 GPS 点进行定线的偏距中误差  $m_d = \pm 0.49\text{m}$ 。误差的具体分布情况: $\Delta d \leq 0.1\text{m}$  占 45.9%; $\Delta d \leq 0.5\text{m}$  占 78.4%; $\Delta d \leq 1.0\text{m}$  占 93.2%;最大定线偏距误差为 1.5m。由此可知,将近一半的误差小于 0.1m。因此,条文规定,当  $\Delta d \leq 0.1\text{m}$  时,可改动转角跟前 1 个~2 个直线桩的偏距,在满足  $180 \pm 1'$  前提下,使直线附合到 GPS 转角桩点上。当  $\Delta d > 0.1\text{m}$  时,应以定线的新定转角桩点为准,并利用原 GPS 转角点及其辅助桩点,测定出新定转角桩点的坐标。然后按新转角桩点的坐标,和下一个转角桩的坐标反算下一个转角段的方位角,并着手下一个转角段的定线工作。当利用选线时 GPS 测量的转角点、方位桩坐标反算方位角进行定线测量,做法解释如下:

- 1 在放样了始端转角点及直线方向点之后,应架站于直线方向点桩位上,以转角桩点为后视,采用经纬仪正倒镜分中法逐站延伸直线,一直延伸至末端转角桩点上。

- 2 当延伸的直线附合不上末端转角时,应量取延伸的直线在末端转角处的偏距,并依据此偏距值推算在直线点处的直线偏移值,以修正延伸直线的方向。

- 3 当定线后的末端转角桩位与预期的点位存在差异时,则在进行第二个转角段贯通直线时,应顾及此项误差,并修正直线方向,以保证第二个转角段的直线能够延伸到末端转角桩点的位置上。

**6.3.4** 跳站观测是指架设一站,往前延伸两个以上直线桩,而在这些桩位上有不设测站的情况。特别要避免在很远处布设两个距离较短的两个直线桩。

**6.3.5、6.3.6** 直接定线测量误差来源主要有:

- 1 仪器误差:由于经纬仪(或全站仪)校正不完全而使水平角产生竖轴误差、视准轴误差和横轴误差。若取正倒镜读数的平均

值,除竖轴误差不能消除外,其他误差均可得到消除。

2 读数误差:经纬仪如果刻度分划大,读数误差就大。若刻度最小分划值为  $g$ ,其读数中误差  $m_r = \pm 0.116g$ 。对 DJ6 类型仪器,最小分划值为  $1'$  时,读数中误差为  $7''$ 。若照明情况不佳,显微镜的目镜未调好焦,以及观测者的技术不熟练时,则读数中误差可能大大超过此值。

3 对中误差:对中误差的影响与偏心距的大小、前后视距离的长短有关,如图 1 所示。

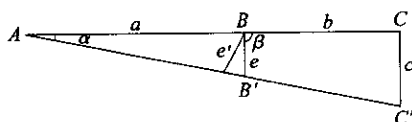


图 1 仪器对中误差引起的直线误差

A、B 为直线桩,为在 A、B 的延长线上定出另一直线桩 C,仪器设置于 B,因对中误差仪器偏心至  $B'$ ,定出  $C'$ ,  $CC'$  为对中误差引起的位移。 $e$  为偏心距,当  $e$  在顺线路方向时,对中误差影响为零,当  $e$  垂直于线路方向时,  $e' = e$ , 对中误差影响最大。为分析方便,按本规程规定  $e$  最大允许误差为 3mm,实际定线后的直线桩为 A、B、 $C'$  三点连成线,在 B 点产生了误差角值为  $\beta$ 。则:

$$\operatorname{tg} \beta^{-1} = (e + e/a \times b) \div b \quad (4)$$

按  $e = 3\text{mm}$ ,  $a$ 、 $b$  分别为后视、前视距离,  $\beta$  为仪器对中误差所引起的直线定线误差。随着测绘仪器的发展,目前一般均采用光学对中,因此一般情况  $e = 3\text{mm}$  是可以达到的,并考虑到定线后视与前视长度在 300m 以上时,按计算可取对中误差  $m_m$ , 为  $m_m = 5''$ 。

因为一经对中后,则前后视点之差反映不出来,所以对分中后点位的影响仍为  $m_m$ 。根据多年输电线路定线实践总结,短距离条件定线的情况很少出现,只有出现“面包型”山脊或山间砍伐树木较多时,不得已情况下才会遇见。为了减小短距离定线的误差,应采用以下措施:①在架设仪器时,为减少对中误差,仪器基座三个

脚螺旋应使其中两个与直线方向平行,而第三个脚螺旋调整使其对中后,另两个脚螺旋只是在直线方向上调整移动;②清除桩位视线障碍物,力求瞄准桩上钉子;③无法瞄准钉子时,用仪器竖丝指挥目标立直,并用支撑立稳,尽可能照准目标下部。

4 照准误差:十字丝和所照准的测杆各有粗细,因此,当观测点近时,如图 2(a)所示,应使十字丝位于测杆的中心,而当观测点远时,如图 2(b)所示,应使测杆物像位于十字丝的中心,即使如此,在任何情况下,照准误差也是不可避免的。

照准误差随观测点的远近而不同。通常观测用的测杆有:直径为 30mm 的花杆,直径为 20mm 的金属标杆及直径为 4mm 的测钎等。照准距离  $L$  和视准误差  $\alpha$  的关系如图 3 所示。照准距离愈短,则视准误差就愈大。因此,为了精确地观测水平角,应采用较细的测杆,并使照准距离长一些。

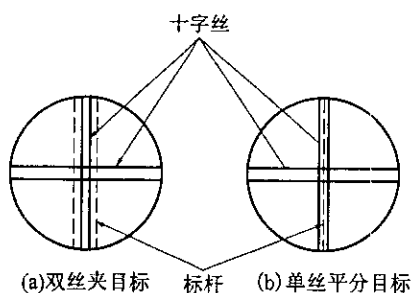


图 2 十字丝和测杆物像的关系

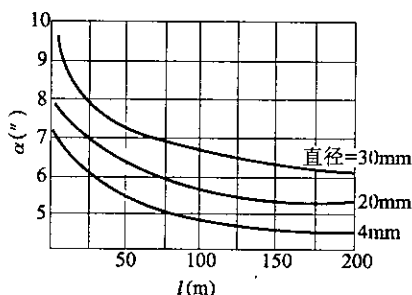


图 3 照准距离  $l$  和视准误差  $\alpha$  的关系

影响照准精度的因素很多,如望远镜的放大倍率、照准方法、成像清晰、背景好坏、气流影响以及十字丝粗细等有关。现单从分析望远镜的鉴别率着手。设人眼的鉴别率为  $P$ , 则人眼通过望远镜照准目标时鉴别率  $\alpha = P/V$  ( $V$  为望远镜放大倍率), 一般  $P = 30'' \sim 120''$ 。当观测条件不好时, 可取  $P = 120''$ , 若  $V = 25$ , 则  $\alpha = 5''$ 。另据我国仪器标准规定: 对于 DJ6 型经纬仪鉴别率不应大于  $4.5''$ , 故可取  $\alpha = 5''$ 。

设一次照准的中误差为  $m_z$ , 前后视照准两次决定一个点位, 其照准误差的影响为  $\sqrt{2}m_z$ 。两次点位之差的中误差为  $\sqrt{2} \times \sqrt{2}m_z$ , 取中后照准误差的影响为  $\sqrt{2} \times \sqrt{2}m_z / 2 = m_z$ , 所以也是相当于单次照准时误差的影响, 即  $m_z$ 。

5 目标倾斜误差: 如图 4 所示,  $A$  为测站,  $B$  为立花杆点, 花杆长  $BC$  为  $h$ , 对垂直位置的倾角为  $\alpha$ , 则由于目标倾斜产生的直线偏移角  $Q$  为:

$$Q = h \cdot \alpha / S \quad (5)$$

式中:  $h$ ——照准目标的高度(m);

$\alpha$ ——目标倾斜度(');

$S$ ——照准目标距离(m)。

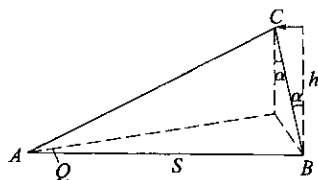


图 4 目标倾斜产生的直线偏移角

由于花杆倾斜时, 可用仪器纵丝指挥立直, 花杆的倾角  $\alpha$  平均在  $30'$  左右。当用仪器纵丝指挥立直后, 且用小竹杆支撑握牢, 则可达  $15'$  以内, 现分别取  $\alpha = 30'$ 、 $15'$ , 代入(5)式, 其结果如表 4、表 5 所示。

表 4 目标倾斜  $30'$  产生的直线偏移角

$Q(^{\circ})$ $h(m)$	$S(m)$	100	200	300	400	500
3		0.90	0.45	0.30	0.22	0.18
2		0.60	0.30	0.20	0.15	0.12
1		0.30	0.15	0.10	0.08	0.06
0.5		0.15	0.08	0.05	0.04	0.03

表 5 目标倾斜  $15'$  产生的直线偏移角

$Q(^{\circ})$ $h(m)$	$S(m)$	100	200	300	400	500
3		0.45	0.22	0.15	0.11	0.09
2		0.30	0.15	0.10	0.08	0.06
1		0.15	0.08	0.05	0.04	0.03
0.5		0.08	0.04	0.02	0.01	0.01

目标竖立不直或偏心,其误差影响与仪器对中的情况相似,即偏心相同时,边短者,其影响大,但与角度的大小无关。当目标倾斜的方向和直线方向一致时,则误差影响为零;当目标倾斜方向与直线相垂直时,则误差影响为最大,并与目标倾斜偏离直线的距离、前后视距离的长短有关。

由于前后四次照准时目标倾斜误差的影响也是同照准误差一样,所以也是相当于单次照准时目标倾斜误差的影响,即  $m_q$ 。

考虑输电线路定线前视或后视距离在 300m 以上,一般照准目标 1.5m 左右的高度,故可取  $m_q = 6''$ 。

6 仪器整平误差:仪器整平误差的影响有两种,一种是使度盘不水平,另一种是使水平轴不水平,由于延长直线时,不需用度盘读数,故第一种影响可以不考虑。第二种情况,因水平轴倾斜在平地定线时,后视点垂直角  $\alpha_1$  与前视点垂直角  $\alpha_2$  关系为  $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 0^\circ$ , 则整平误差影响很小。在山区垂直角变化一般在  $10^\circ \sim 20^\circ$ , 整平误差允许气泡偏一格,根据 DJ6 型经纬仪水准管格值为  $30''$ , 则纵

轴倾斜  $\delta$  角亦为  $30''$ ，一般取倾角  $i = \delta/\sqrt{2}$ ，考虑最不利情况  $\Delta i = 0.6i$ ，则整平误差为  $12''$ 。

仪器一经整平，仪器纵轴位置便已固定，所以在两前视点中亦反映不出来，故对分中后的影响仍为  $m$ 。

根据误差传播定律写成：

$$m_{\Sigma} = \pm \sqrt{m_r^2 + m_m^2 + m_q^2 + m_z^2 + m^2} \quad (6)$$

由前面分析过的数据：山区定线  $m_r = \pm 7''$ 、 $m_m = \pm 5''$ 、 $m_z = \pm 5''$ 、 $m_q = \pm 6''$ 、 $m_m = \pm 12''$  代入式(6)得  $m_{\Sigma} = \pm 16.7''$ ，最大误差则为  $\pm 33.4''$ 。

若平地定线，则  $m_{\Sigma} = \pm \sqrt{m_r^2 + m_m^2 + m_q^2 + m_z^2 + m^2}$  将前述数据代入得  $m_{\Sigma} = \pm 11''$ ，最大误差则为  $\pm 22''$ 。当采用正倒镜距离分中法时不存在水平角读数误差。

结论：应用 DJ6 型经纬仪正倒镜分中定线测量，其分中后点位偏离直线的精度：山区不超过  $34''$ ，平地不超过  $22''$ 。考虑到实际作业时受外界各种影响较大，前后视距离不一定相近，故本条规定直线桩中心允许偏差范围  $\pm 1'$ 。采用本规定定线方法是可以满足要求的。从设计要求看，当直线塔中心偏离直线方向  $3' \sim 4'$  时，对塔所引起的垂直于直线方向的水平荷重、导线放电间隙的改变及绝缘子串歪斜都是允许的。从施工工艺的要求看，当直线精度满足  $1'$  时，塔中心偏离直线及绝缘子歪斜肉眼是觉察不出的。综合上述，认为定线精度规定为  $\pm 1'$  是合理的。

定好前视直线桩后，检测半测回，如图 5 所示。

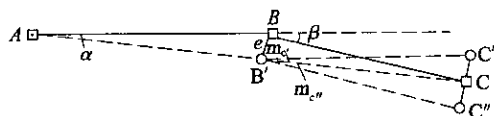


图 5 直线定线检测误差图

仪器设站于  $B$ ，实际对中于  $B'$ ，检测半测回  $C$  点角值对于  $C'$  (或  $C''$ ) 所得点位中误差为：

$$m_c = \pm \sqrt{(\sqrt{2}m_z)^2 + (\sqrt{2}m_q)^2 + (\sqrt{2}m_r)^2} \quad (7)$$

将前述分析数据代入得  $m_c' = \pm 12''$ , 最大误差为  $\pm 24''$ , 因为仪器没有重新对中, 实际上的对中误差没有反映出来, 检测的角值是正倒镜分中后的角值, 因此半测回检测直线的误差并不能反映直线的精度, 只能判断直线定线是否存在粗差。

根据对定线的误差分析, 由于短距离定线, 对中、照准的误差影响很大, 必须采取相应的措施才能满足  $\pm 1'$  范围内的要求。

正倒镜两前视点点位之差的限差要求作出规定才能确保直线的精度, 如图 6 所示。

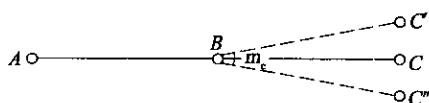


图 6 两前视点点位之差

因为直线定线是按设定的  $180^\circ$  放样的, 在延伸直线仪器对中设站后中误差、整平误差在直线误差中反映不出来, 所以首先考虑读数误差、照准误差及目标倾斜误差的影响。确定前视点是通过两次照准, 故前视点点位中误差(即半测回)为:

$$m' = \pm \sqrt{(\sqrt{2} \times m_z)^2 + (\sqrt{2} \times m_q)^2 + (\sqrt{2} \times m_r)^2} \quad (8)$$

两前视点之差的中误差(即测回)为:

$$m'' = \pm \sqrt{2} m' = \pm 2 \times \sqrt{m_z^2 + m_q^2 + m_r^2} \quad (9)$$

将  $m_z = \pm 5''$ 、 $m_q = \pm 5''$ 、 $m_r = \pm 7''$  代入(9)式得  $m_\Sigma = \pm 20''$ , 最大误差为  $\pm 40''$ 。当采用正倒镜距离分中法时, 不存在水平角读数误差。因为考虑到仪器视准轴和水平轴的影响, 特别是竖轴误差的影响以及对中、整平等误差的影响, 则最大容许误差可取  $\pm 1'$ 。

B 为测站点, A 为后视点, C 为直线延长线上桩位。  $m_\Delta$  为两前视点点位之中误差,  $C'$  及  $C''$  就是由于定线误差而定出的两前视点。对于直线 BC 不同的长度, 相应有一个  $C'C''$  值, 在定线测量时, 根据不同的距离, 来控制两前视点间的位移值, 便能使定线误

差阻止在  $1'$  之内,近似值每百米按比例递增为  $6\text{cm}$ ,精确值按允许中误差  $m = S \times \text{tg}0^\circ02'$  ( $S$  为距离,单位为  $m$ )。

**6.3.7** 根据输电线路直线允许偏离范围不应大于  $\pm 1'$  的要求,对于转角同样适用。按照此要求对于施工复测时与设计值之差不应大于  $1'30''$  是一致的,因为两次之差的允许值为:

$$2\sqrt{2} \times 30'' = 84'' \approx 1'30''$$

表 6 用 DJ2 型经纬仪检验 DJ6 型经纬仪直线定线精度表(m)

后 视		前 视		正 倒 镜 两前视点之差			用 DJ2 检测直线的误差值		
距离	高差	距离	高差	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
300	+4.18	500	-9.1	0.044	0.118	0.073	$180^\circ00'00''$	$180^\circ00'04''$	$180^\circ00'03''.0$
80	-8.80	420	-44.5	0.068	0.092	0.081	$180^\circ00'01''$	$180^\circ00'06''$	$180^\circ00'2''.5$

要满足测角误差  $\pm 1'$  的要求,采用 DJ6 型经纬仪即可,但必须指出:转角的施测必须照准相邻的两直线桩测角,禁止对转角附近的方向桩测角,以免引起误差的超限。测角记录应记至秒,成果取至分。这对于离施工期较长需要交桩恢复直线桩位有益处。

**6.3.8** 布设矩形、等腰三角形间接定线的图形示意并释义如下:

1 矩形法定线,如图 7 所示。

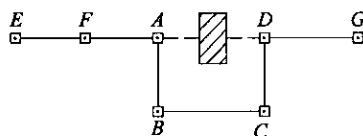


图 7 矩形法定线示意图

图 7 中  $F$ 、 $A$ 、 $D$  应为一条直线上,因有障碍物,使  $AD$  不通视,为定出  $D$  使其在  $FA$  延长线上。首先置仪器于  $A$ ,后视  $F$ ,正倒镜设直角、量距取中分中定出  $B$  点。再置仪器于  $B$  点,后视  $A$  点,正倒镜设直角分中、量距取中后定出  $C$ ,同法置仪器于  $C$ ,定出  $D$ 。



折角  $90^\circ$  (或  $270^\circ$ ) 时, 测角误差引起的正弦函数值变化影响很小, 这样影响横坐标误差大小主要是取决于量距的精度。

2. 等腰三角形法, 如图 8 所示。

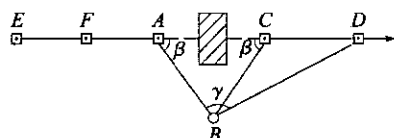


图 8 等腰三角形法间接定线示意图

图 8 所示中  $F$ 、 $A$  为直线桩, 欲定出  $C$  桩, 中间遇有障碍物不通视, 为此, 先置仪器于  $A$ , 后视  $F$ , 正倒镜设角  $180^\circ + \beta$ , 量距  $S$  定  $B$ , 再置仪器于  $B$ , 正倒镜设角  $180^\circ - 2\beta$ , 量距  $S$  定  $C$ , 最后置仪器于  $C$ , 正倒镜分中设角  $180^\circ + \beta$ , 则可定出  $G$ 。为了检核延伸直线是否满足允许偏差  $\pm 1'$  之内, 采用  $AC$  延长线上加测一点。当仪器架设  $B$  站放样  $C$  点的同时, 根据所测  $\gamma$  角值与  $D$  横坐标值为 0 的函数关系, 算出  $BD$  间距离定出  $D$  桩。在  $C$  站根据等腰三角形角值关系所得延伸直线方向是否与  $D$  点一致, 若相差在  $\pm 1'$  以内, 证明直线是比较可靠的。  $CD$  间距大于 100m 为宜。

**6.3.9 导线法间接定线测量的导线是敷设成两端附合在路径直线上的一条附合导线, 如图 9 所示。亦即始端导线点  $A_0$ 、 $A_1$  和末端导线点  $A_n$ 、 $A_{n+1}$  均为直线桩点。导线的坐标系, 以  $A_1$  为原点, 路径直线  $A_1A_n$  为  $X$  轴方向, 过原点垂直于路径直线的为  $Y$  轴方向。**

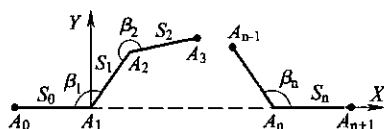


图 9 导线法间接定线示意图

直线桩点  $A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_n$  和  $A_{n+1}$  的  $Y$  坐标值均等于零。因此, 由直桩点  $A_0$  和  $A_1$  开始, 按导线法进行间接定线, 最后回归附合到路径直线上, 是以末端两个桩点的  $Y$  坐标等于零为条件的。

导线起止连接角  $\beta_1$  与  $\beta_n$  大于  $150^\circ$  或小于  $30^\circ$  为好; 中间的导

线边宜接近平行于路径方向,边长应力求均匀;导线长度不宜超过 2km 是指起止端导线点  $A_1$  至上  $A_n$  各边长度之和不宜超过 2km。

导线计算及标定桩位的具体操作释义如下:

1 导线计算应当场实时进行,边测边逐点推算。角度取位至秒;边长、坐标取位至毫米。

2 标定末端导线点  $A_n$  时,应采用放样和定测两个步骤进行。以  $A_n$  的 Y 坐标等零为条件,反算出  $A_n$  点的放样数值。放样之后应立即进行定测,并重推  $A_n$  点的 Y 坐标,其值应等零。若不等零,其误差不应大于  $\pm 5\text{mm}$ 。若超限,应重新放样和定测,直至符合要求。

3 标定末端最后一个导线点  $A_{n+1}$  时,同样应采用放样和定测两个步骤进行。仍以  $A_{n+1}$  的 Y 坐标等零为条件,反算放样数据。然后进行放样和定测,直至符合要求。

当  $A_n$  和  $A_{n+1}$  桩点测定并符合要求时,接着就根据这两个直线桩点(即  $A_n$  和  $A_{n+1}$ ),按正倒镜分中法继续往前进行定线测量。

6.3.10 规定了 RTK GPS 进行定线测量,校核选线时转角的坐标和高程较差的精度指标。

6.3.11 规定了直线桩间距离不宜过短,当距离较短时,GPS 测量的相邻桩位相对坐标中误差虽易满足精度要求,但依此延伸的直线桩或塔位桩难保证直线性要求,当桩间距离为 400m 左右时,坐标横向误差 0.05m 能满足直线偏差范围  $\pm 1'$  的要求。

6.3.12 RTK GPS 技术还在不断发展,在实时传输过程中受到干扰因素(产生误码)很多,所以强调要使用双频接收机。

## 6.4 桩间距离和高差测量

6.4.1 桩间距离和高差测量可与定线测量合并工序同时开展。可采用光电测距仪和 GPS 两种方法进行桩间距离和高差测量。

6.4.2 桩间高差测量,是以光电测距三角高程测量技术为基础。对向观测各一测回是最能防止粗差产生的,若采用同向观测两测

回时,第二测回必须变动觇标高或变动仪器高,是防止产生高差粗差的重要措施。

**6.4.3** 光电测距仪作业时,按照仪器使用说明书操作。当发现异常现象时,应停止观测,分析原因,以保证成果的正确和仪器的安全。

**6.4.4** 由于采用光电测距仪,量距精度易达到  $1/1000$  以上。配备的经纬仪有 DJ6 型、DJ2 型两种,即使以 DJ6 型经纬仪取测角精度  $m_a = \pm 0.5'$ ,垂直角在  $20^\circ$  的情况下,以两倍中误差为极限误差,也能满足  $\pm 0.4S$  的高差限差要求。

**6.4.5** 式中  $R$  一般取当纬度为  $35^\circ$  时的  $R = 6371000\text{m}$ ;

大气折光差系数  $K$  一般取  $0.13$ 。

**6.4.6** 两测回高差较差大于  $0.4S$  时算超限,首先要检查垂直角、仪器高、觇标高、距离的记录、计算的正确性。当还是超限时,应补测垂直角一测回,当与原其中的某一测回吻合时,则选用其相吻合两测回成果,否则要继续重测,直到两测回高差限差合格为止。

**6.4.7** 正常高系统是工程建设中广泛采用的高程系统。输电线路 GPS 高程系统概念上仍要为正常高系统。当桩间距离小于  $8\text{km}$  时,采用大地高差进行直接推算,这是近似正常高系统。当搜集到本地区高程异常值变化大,就采取联测已知高程的控制点逐段改正或建立高程异常数学模型,全线进行拟合改正。

## 6.5 平面及高程联系测量

**6.5.1** 规定了线路工程中在什么样环境条件下应进行坐标联系测量。

**6.5.2** 该条中对转角塔中心的点位误差要求是引用《工程测量规范》GB 50026 中主要地物点位置的中误差要求。

**6.5.4** 进行洪痕点及洪水位高程的联系测量应与水文专业在现场紧密结合。

**6.5.5** 高程联系测量的路线长度 0~5km(含 5km)、5km~10km(含 10km)和大于 10km 的三种情况规定应满足相对应等级的高程联系测量精度。联系测量路线长度越长,要求采用的等级越高。

**6.5.6** 计算高差时进行地球曲率和大气折光差改正仍按第 6.4.5 条中的公式计算。规定了一级、二级光电测距三角高程测量精度要求和图根水准测量技术要求。

**6.5.7** 规定了高程联系测量的四等光电测距三角高程测量的仪器高和照准目标主要技术要求和四等水准测量主要技术要求。

## 6.6 平面及断面测量

**6.6.1** 当设计需要时,应搜集或施测线路的起迄点和变电所相对位置的平面图。当初步设计阶段已经搜集或实测的平面图能满足要求时也可以直接利用。

**6.6.2** 平面及断面测量前必须有相关基础资料。

**6.6.3** 平断面的测量,以后视方向为 0°,前视方向为 180°。当需要对准前视时,仪器度盘和记录上应统一为 180°。当遇见转角设站测绘前视方向平断面、边线、风偏横断面、风偏点,必须以度盘 180°对准前视桩位。

**6.6.6** 施测断面的方法有两种情况:一是全档观测(从设站桩测至邻桩断面点);另一种是近站观测(在设站处观测两侧各不大于 1/2 桩间距离的断面点)。前者架站少,在山区断面观测中多被采用。后者架站多,需逐站挺进。从实践和理论分析证明,全档视距观测精度低,即使采用光电测距仪精度很高,但由于视线长,观测员或绘图员对地形地物勾绘或连接困难,容易造成漏测或错绘现象,因此要求近站观测。

**6.6.7** 一般按式(10)衡量厂家提出 RTK GPS 仪器精度。

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (bd)^2} \quad (10)$$

式中:  $\sigma$ ——标准差(mm);

$a$ ——固定误差(mm);

$b$ ——比例误差系数( $10^{-6}$ );

$d$ ——相邻点间距离(km)。

RTK GPS 仪器精度不应低于 5cm 就是指适应所有相邻点间距离计算的  $\sigma$  值小于 5cm。

#### 6.6.8 有关测绘平断面的作业步骤及内容说明如下:

1 输入的参数应包括转角点坐标。当采用自动扫描时,应根据地形情况,输入扫描步距、行距、行数及扫描速度等。

2 平面数据采集时,地物及交叉跨越物的类别、数量应以测绘像片为准,位置、形状应以模型为准。

3 采集断面数据的方式,可采用自动扫描方式,也可采用手动方式。对于平地丘陵地区宜采用自动扫描方式。

4 当自动扫描时,应人工立体跟踪。扫描步距宜为实地距离 5m~10m,行距应为边线至中线的垂距,行数为中线和左、右边线三条,采点间隔时间宜为 3s。

5 中线断面扫描时,应以输入的转角桩点坐标为扫描的起始点。转角桩点坐标宜采用 GPS 测量的成果。

6 数据处理后生成的图形文件,宜为可供 CAD 编辑的 DXF 文件,或者为可在 AutoCAD 中编辑的 DWG 文件。

7 当进行断面编辑时,宜采用在线编辑,并应使提交的数据文件和图形文件达到一致。离线编辑,宜用于图面修饰、文字注记、图幅接边及拼装等。

6.6.9 施测平面地物的范围是根据塔的结构形式、导线水平排列宽度和电气的影响而定的,为了满足设计排位的要求,应配合设计人员对现场地物范围要求进行测绘。

6.6.10 由于森林法的实施及党对农民利益的保护政策,对路径跨越植被品种、范围、高度等应测绘调查清楚。

6.6.12 中线断面点的选取直接与设计排位有关。断面点的选取,应从导线弧垂变化对地面安全距离的相互关系中,以及使用塔型的条件需要进行考虑,应能反映地形变化特征和地物的位置。

根据山区实际情况,塔位立在山头制高点或附近位置,而导线最大弧垂处,一般对应地形为深凹山谷,断面点可少测或不测。而在离塔位 1/4 档距区段内,地形高差变化大,导线轨迹对地切线变化也较大,应加密地形测点。测量主要错误有测错、读错、报错、输入错、听错、记错、写错以及计算错,又未严格校核;仪器设站少或棱镜立不到点位,以及目估替代实测出入较大。应防止测错和漏测现象的发生。平断面测量应做到站站清、日日清。

**6.6.13** 考虑导线受最大风力作用产生风偏位移,对接近的山脊、斜坡、陡岩和建构筑物安全距离不够而构成危险影响。为保证电气对地有一定的安全距离,应施测风偏横断面或风偏危险点,其施测风偏距离可按下式估算:

$$S = d + (\lambda + f) \alpha \sin \eta \quad (11)$$

式中:  $S$ ——风偏距离;

$d$ ——导线间距;

$\lambda$ ——绝缘子串长度;

$f$ ——设计最大风偏时风偏处的弧垂;

$\eta$ ——导线最大风偏角;

$\alpha$ ——安全距离。

在等效档距导线弧垂最低点,风偏影响施测的参考最大宽度见表 7。

表 7 等效档距时风偏影响施测的最大宽度(m)

档 距	300	400	500	600	700
离线路中心线的水平距离	24	28	32.5	38.5	46

对于悬岩峭壁之类,考虑导线最大风偏,凡在危险风偏影响内,应在断面图上标注出危险点。标注方式如下:

$$\frac{\text{测点高程(m)}}{L(R) \text{测点垂直于线路中心线的水平距离(m)}}$$

注:  $L$ ——表示左边;

$R$ ——表示右边。

因考虑导线最大风偏和电场场强影响,应测示屋顶,屋顶材料标注于断面图上,并标注出危险点,标注方式如下:

$$\frac{\text{测点高程(m)}}{L(R)\text{测点垂直于线路中心线的水平距离(m)}}$$

在断面图下的平面图内,相应作出示意图。对于房屋是尖顶或平顶应在纵断面图上加以区别。

风偏横断面各点连线应是垂直于输电线路的纵向,见图 10。而在山区,输电线路的纵向多数与山脊呈斜交,见图 11。

对于第一种情况应按本规程有关规定及图示测绘,对于第二种情况根据电气影响范围适当选测点位,以风偏点形式表示。

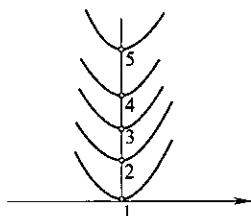


图 10 线路纵向与山脊垂直

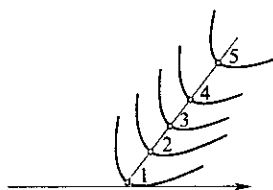


图 11 线路纵向与山脊斜交

**6.6.14** 当两边导线之间有高出中心断面和边线的危险点时,采用航测方法进行平断面测量容易忽略,应特别注意施测并标于图上。

**6.6.15** 由于线路导线为并列排列,边导线对地净空安全距离的要求和中线同等重要。边导线对应的地形高出中线地形 0.5m 时,应测绘边线断面。对于直流输电线路,因为只有两排平行的分裂导线,分挂在塔的两侧,无中间导线,但为了勘测与设计实用考虑,仍以测绘交流线路各项要求相同。

施测边线位置离中线的距离由设计人员确定,施测方法可根据现场情况和各单位作业习惯而定。

当输电线路通过缓坡、梯田、沟渠、堤坝交叉角较小时,边线对应中线高出 0.5m 以上位置很长,应注意选测正确位置。

**6.6.19** 在平断面图编辑时,应以现场实测的直线桩的桩间距离,

转角桩、直线桩的桩位高程及交叉跨越测量成果资料修正编辑航测平断面图。

## 6.7 交叉跨越测量

**6.7.1~6.7.9** 由于 330kV~750kV 架空输电线路线间距离较宽,一般在 8m~14m,不仅要测中线交叉点的线高,还要施测边线交叉点的线高,特别是斜交或左右杆不等高时,应选测有影响侧的交叉点位置和线高。对于影响范围内的杆顶,必须测出杆顶高。

应注意准确施测各交叉点的正确位置,有时遇到交叉点无法立尺(立镜)或设站时,应采取间接方法测量并加以计算求得成果。遇有重要交叉跨越时,必须要求设计人员在现场配合。当观测不能准确判断交叉点时,宜分别在两站进行观测,若距离较差大于 1/200、高差较差大于 0.3m 时应分析原因进行重测。当大风时,导线摇摆不定时,应停止观测。

由于光电测距仪的普及与推广,用光电测距仪施测平断面和交叉跨越,其测距精度是相当高的。为了减少工作量,对一般交叉跨越可作半测回距离测量,但要防止漏测。

**6.7.10** 输电线路交叉跨越一般河流、水库和水淹区,如果水文专业需要,应向测量提供联测的洪迹和发生的年、月、日。在河中立塔,包括我国北方地区季节性河流,河面很宽,需要在河床上抬高基础立塔,应测量河床纵断面或横断面。

## 6.8 定位与检验测量

**6.8.1** 定位前必须向设计人员索取三项资料,尤其是平断面图由设计人员排位绘出弧垂线后,可以判断危险点加以检测。若设计人员在室内不能预先提供,应在实地指明危险点或疑点加以检测。

**6.8.2** 巡视检查是十分重要的,对于平地而言主要是看有无重要地物和交叉跨越物遗漏未测。对山区地形,居高临下,细心察看是否遗漏山头未测和判断边线、风偏点漏测和测点不足等进行补测。



6.8.4 塔位在水田或耕作的旱地中,因桩位不能保存,只有定在塔位桩直线附近埂堤上为宜,并提供桩位里程和高程。另外为校测起见,对塔位处亦要施测距离和高程,不必钉桩。

6.8.6 塔位桩的直线方向宜采用前视法测定,若用此法可不必正倒镜测水平角,但高程仍需正倒镜测垂直角。

6.8.7 采用 RTK GPS 进行塔位桩定位时,一定要注意保证同一耐张段内直线塔的直线性。

6.8.8 关于定位过程中的检查测量,输电线路经过地段千差万别,相关要素复杂,作业过程中的情况也比较复杂,为保证线路的测量成果质量,必须把握定位中的检查。

1 危险断面点的检查测定(包括边线、风偏横断面):经设计专业在断面模型排位之后,从导线对地安全曲线中可以直观出什么位置切地,何处裕度比较大,再在现场巡视对照,从中可以发现实地是否有影响。我们把受控制的断面点视为危险断面点,而用仪器进行检测。在编制本规范时为给危险断面点一个定义,以便检测中掌握。我们从断面点的测定误差、图纸上高程的概括误差的综合影响分析对裕度的比较结果认为图上定位地面安全曲线离断面点的距离(包括边线点、横断面点、风偏点等)在山区 1m 以内,平地 0.5m 以内,均属危险断面点范围。

2 档距的检查测量:对于档距的检查测量,由于地形条件的不一样,检测的方法也各不相同。在平地多数直接测定档距与直线桩闭合,山区则仍借助直线桩测定为多数,下面就检测距离的限差值进行分述。

检测档距的较差中误差  $m$ :

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_{11}^2 + m_{12}^2 + m_j^2} \quad (12)$$

式中:  $m_1$ ——直线桩间距离中误差;

$m_{11}$ 、 $m_{12}$ ——测定塔位桩距离中误差;

$m_j$ ——检查时距离中误差。

按照近桩观测时的情况,使用全站仪则检测档距为 1/1000,

取两倍中误差为允许误差,则最大较差为  $1/500$ 。

同理,分析塔位的高差较差值,仍然以近桩观测为依据,按照误差传播定律求得,检测时的允许高差值为原视距测量每百米高差允许值的 $\sqrt{2}$ 倍,此数则为检核标准。

3 检查测量中发现问题的处理:当通过实地的施测发现检测数与原成果数的差数出现超限时,应进行现场及时纠正,除图面进行修正外,还要同时通知设计人员在现场核实排位。所有发现的问题必须慎重对待,认真分析原因,确保工程质量。

## 6.9 塔基断面及塔位地形测量

6.9.1 塔基断面和塔位地形图的测量主要适用于山区线路的测量。为减少土石方开挖量,减低塔高,降低造价,保护环境,以便于正确确定施工基面、选择合适的接腿和基础型式,故自立塔塔位除平地外,应按结构设计人员现场要求的范围进行施测塔基断面或塔位地形图。

6.9.3 自立式铁塔塔基断面塔腿方向的确定主要有以下几种:

1 方形直线塔:塔腿间夹角为  $90^\circ$ , A、B、C、D 腿与线路后退方向夹角依次为  $45^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $225^\circ$  和  $315^\circ$ , 见图 12。

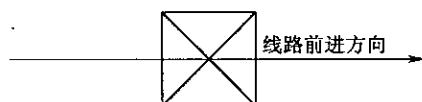


图 12 方形直线塔塔基断面塔腿方向的确定

2 矩形直线塔:矩形塔的塔腿间夹角根据不同塔形在一定范围内变化, A、B、C、D 腿的方向通常由设计现场提供, 见图 13。

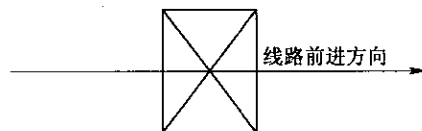


图 13 矩形直线塔塔基断面塔腿方向的确定

3 方形转角塔:塔腿间夹角为  $90^\circ$ ,转角塔转角度为  $\alpha$ ,线路左转时  $\alpha$  取正值,线路右转时  $\alpha$  取负值,A、B、C、D 腿与后退方向夹角依次为  $45^\circ - \alpha/2$ 、 $135^\circ - \alpha/2$ 、 $225^\circ - \alpha/2$  和  $315^\circ - \alpha/2$ ,见图 14。

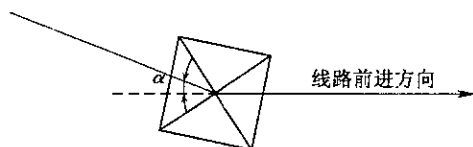


图 14 方形转角塔塔基断面塔腿方向的确定

6.9.4 拉线塔的塔基测量应测量塔腿和拉线盘方向的塔基断面,其测量范围较自立式铁塔略大。

6.9.5 测量塔位地形图时,塔腿中心和保护范围附近应测量详细,尽可能反映塔腿附近的地形变化。

## 6.10 房屋分布图测量

6.10.3 跨越尖顶房(屋顶无人活动)和平顶房(屋顶有人活动)电气距离要求不同,因此房屋分布图应包含屋顶形式的内容。

6.10.5 航测内业测量房屋时,测量范围往往测量屋顶边缘,外业测、丈量时,测量范围通常是滴水檐下,二者点位误差应在 0.6m 以内,如差别较大,应以外业测、丈量为准。

6.10.6 随着国民经济的发展和建设和谐社会的要求,房屋面积统计时应尽量准确,楼层统计到 0.5 层。

## 6.11 塔位坐标测量

6.11.1 塔位坐标测量的目的,是为工程规划建设数字化电网和报批等提供基础地理信息,其测量要求和坐标系统应满足业主要求。

## 6.12 林木分布测量

6.12.1 跨越林区时调查和测量树种、密度、现时平均胸径、现时

生长高度和范围等信息是指现时情况下的相关信息,对于规划的林区、树木的自然生长高度、最高生长高度等信息可根据设计提供的资料和设计的要求表示。

### 6.13 接地极极址测量

**6.13.1** 我国电力行业标准《高压直流输电大地返回运行系统设计技术规定》DL/T 5224—2005 中对有关的术语和定义解释如下:

高压直流大地返回运行系统(HVDC earth return operation system):在高压直流输电系统中,以大地或海水作电流回路运行而专门设计和建造的一组装置的总称。它主要包括接地极线路、接地极、导流系统及其辅助设施。

接地极址(electrode site):接地极所在场地。

接地极线路(electrode line):连接换流站中性母线与接地极导流系统的架空线路或地下电缆。

接地极(electrode):可持续地为直流系统传递直流电流的接地装置,是由若干组接地导体和活性填充材料组成。安装在陆地上的接地极,称为陆地接地极;安装在海水或海岸的接地极,称为海洋或海岸接地极。

导流系统(current guiding-system):将接地极线路上的电流引导至接地馈电元件的装置。它由导流线和构架、隔离开关、馈电电缆及其连接件组成。

**6.13.2** 接地极极址测量的坐标、高程系统一般采用与线路工程统一的坐标、高程系统。

**6.13.6** 重新加测的带状地形图,宜采用比原极址地形图比例大一级的成图比例尺。

**6.13.8** 极环平断面图是极环上以某一固定点为起点,在极环上按一定的间距,同时考虑地形起伏特征测量断面点。最后的终点回到原起点。每个断面点是通过极环的数学模型坐标反算放样后

确定在极环上再测定的。以起点为零累距,顺序相加前面断面点的间距(两断面点坐标反算的平距)后获得断面点累距,以累距和高程数据绘制断面图。以相近两极环断面点的切线为基准确定平面点位置关系,连续展绘平面点成平面图。

#### **6.14 提交的成品资料**

**6.14.1** 由于各单位专业配合分工及各工程自身特点不尽相同,因此,这里只规定主要提交的资料。

**6.14.2** 工程测量技术报告是对整个工程测量工作的全面阐述,重点是说明测量的方法、精度和工效以及尚待深化研究的问题,总结经验,使线路工程测量水平不断提高。

**6.14.3** 立卷归档非常重要,应认真完成,防止资料丢失和遗漏。

## 7 可行性研究阶段岩土工程勘察

**7.0.2** 本条具体规定了本阶段勘察的主要工作内容。具体使用时应有所侧重,对线路路径影响较大的不良地质现象、采空区、跨越等应重点调查。本条给出了应搜集资料的几个大的方面。区域地质资料主要是指区域地质构造和地层岩性资料,通过这些资料可以初步了解线路沿线区域构造断裂的展布和活动性、杆塔的地基条件。矿产资源资料主要用来分析拟选线路沿线是否存在采空区及压矿的情况。地震地质资料指线路沿线概略的地震地质背景和地震烈度资料。

**7.0.3** 可行性研究阶段勘察,通过调查和搜集资料大多可以满足要求,一般不需进行勘探工作。

本条规定了现场踏勘工作只对影响拟选线路路径的工程地质条件开展,这些工程地质条件主要指的是有可能影响线路路径成立的不良地质作用、特殊地质条件和人类工程活动诱发的地质灾害等。

在特殊性岩土分布区,当地一般都积累了一定的建筑经验,这些经验对勘察设计工作很有参考价值,应注意搜集。

严重的不良地质作用往往难于处理,且处理费用高,效果不佳,线路以避让为主。

由于拟选线路沿线区域断裂和地震活动、地质灾害的发育、矿产资源和文物的压覆情况将直接影响线路路径的成立或影响项目投资,因此,本阶段应根据项目的实际情况建议开展必要的地质灾害评估、压覆矿产评估、地震安全性评价或压覆文物评估工作。

## 8 初步设计阶段岩土工程勘察

**8.0.1** 目前在线路工程中,初步设计阶段岩土工程勘察工作与项目的初步设计相适应,以满足初步设计和编制概算的需要。

**8.0.2** 本条所列几款内容主要针对初步阶段岩土工程勘察所需调查、搜集的资料和工作内容、范围作出规定。其中地震动参数资料,可直接查阅现行中国地震动参数区划图,如果线路所经区域已经进行过地震安全性评价工作,则应按其结果提供。

**8.0.3** 初步设计阶段的岩土工程勘察,一般通过调查和搜集资料大多可以满足要求,不需进行现场勘探工作。当线路沿线条件比较复杂,积累的资料较少,一般调查无法满足初步设计和编制概算需要时,布置适量的勘探工作是必要的。

遥感技术在线路岩土工程勘察工程中应用越来越多,特别是山区线路工程中。厂址勘察中遥感技术多用来解决区域稳定性问题,在线路勘察中则主要用来查明不良地质现象的发育情况。遥感解译是一种间接的方法,因此,需要有一定的野外实地检验工作,提高遥感解译精度。

**8.0.4** 对不良地质作用、特殊性岩土进行评价是指充分利用地质灾害危险性评估的成果,必要时进行搜资和现场踏勘,据此对其发育状况、影响程度进行评价。

## 9 施工图设计阶段岩土工程勘察

### 9.1 一般规定

**9.1.2** 岩土工程勘察任务书和标有线路路径方案的地形图是开展岩土工程勘察工作的基本依据,应事先取得。终勘定位手册中包含对勘察和设计的有关技术要求,通过它可以了解杆塔及其基础的型式等情况,对于确定勘探工作量及勘探深度等具有参考价值。初步设计阶段岩土工程勘察报告、地质灾害危险性评估报告、压覆矿产评估报告等,对开展施工图设计阶段岩土工程勘察具有导向作用。

**9.1.3** 本条明确了施工图设计阶段岩土工程勘察工作的主要内容。地基岩土的电阻率测量是本阶段勘察必须进行的工作,宜采用对称四极装置施测。

### 9.2 平原与河谷地区勘察

**9.2.1** 平原与河谷地区的岩土工程勘察一般均需进行勘探,在勘探之前应逐基进行地质调查,以便掌握每基塔的基本条件,为勘探工作的合理布置与调整提供依据。

**9.2.2** 本条依据塔型和沿线工程地质条件的复杂程度对勘探点的布置作出规定。

转角塔、耐张塔、终端塔、跨越塔等往往塔型高大,或承受较大的水平荷载,是定位勘察中的重点,勘探工作应逐基进行,在有经验地区可以静力触探试验为主。对于直线塔,勘探点可间隔1基~2基杆塔布置,在实际应用时,要考虑地形地貌和地层岩性的变化情况,灵活掌握。



当勘探点为钻探孔时,还需考虑取土试样的要求,线路工程中勘探点的间距较大,每基塔下的勘探点也少,取样无法达到一般建筑场地的要求,因此,勘察中宜根据地基岩土层的变化,合理布置勘探点,获得适量、可靠的土试样,一方面验证野外鉴定的准确性,另一方面通过室内试验获得必要的岩土参数。

一般情况下,塔基下一个勘探点就可以满足要求,但当地质条件特别复杂时,会出现各塔腿条件不一致的情形,此时,塔腿必须分别勘探,需要适量增加勘探点。对大的环形塔基,当条件复杂时,可参考发电厂烟囱勘察布置勘探点。

**9.2.3** 本条对勘探深度作出了规定,适用于一般的现浇混凝土基础、钢筋混凝土基础、装配式基础、掏挖基础等。

这些深度要求是依据已完成的 500kV 线路勘探的情况,并结合塔基的类型、埋深、荷载大小、受力特点等因素,按有关理论计算而确定。

经验证明,在大多数情况下,一般杆塔地基只要在强度上满足承载力的要求,就可不进行地基的变形验算,只有对某些有特殊要求的重要杆塔才需要进行地基的变形验算。根据非均质地基中附加应力 Westergard 解, $\sigma_z=0.2p$  时的影响深度约为  $1.2b$ ,故规定耐张塔、转角塔、跨越塔和终端塔等较为重要杆塔的勘探深度为基底下基础底面宽度的  $1.0$  倍~ $1.5$  倍,且不小于  $8m$ ,而一般直线塔的勘探深度略为减小。

软土区勘探深度一般应达到附加压力小于上覆土层有效自重压力  $10\%$  的深度;而在高烈度区遇有饱和砂土、粉土层时,对于浅基础其勘探深度必须大于或等于  $15m$ ,对于深基础其勘探深度必须大于或等于  $20m$ 。

采用桩基等深基础型式时,勘探深度应依据具体设计要求和桩基及地基基础设计规范来确定。

**9.2.4** 当塔基位于河谷、河床边缘时,从岩土工程方面主要考虑岸坡的稳定、塔基岩土体的工程特性等,一般与水文及设计等专业

配合,并综合确定。

### 9.3 山地丘陵区勘察

**9.3.1** 山地丘陵区选线勘察的重点是调查沿线分布的不良地质作用,评价其对塔基稳定性的影响程度。条文中列出几款塔位宜避开的地段,具体应用时应结合工程的实际情况与其他因素综合考虑。

**9.3.3** 当基岩出露较好和覆盖层厚度较薄时,均需对出露的基岩和下伏基岩进行鉴定,一方面是为了满足杆塔基础设计的需要,另一方面也是为了满足编制施工开挖工程量预算的需要。

当覆盖层厚度较厚时,宜按照平原区的勘察和评价方法执行,但当采用深基础时,例如嵌岩桩,也应对基岩进行鉴定和评价。

## 10 岩土工程勘察方法

### 10.1 工程地质调查

**10.1.3 可行性研究设计阶段**,宜搜集沿线水文地质与工程地质普查报告、地质灾害普查报告、矿产分布与开采资料、当地特殊岩土与特殊地质条件方面的资料,当地工程勘察与建设方面的经验等;调查工作重点为与线路相关的矿产分布与开采区、地质灾害发育区,调查的宽度应满足线路路径的比选和工程设计需要、并应考虑环境整治的要求。工程地质调查是山地丘陵区 and 地形地质条件复杂区一项不可缺少的工作。

**10.1.5 施工图设计阶段**,主要是针对塔位开展调查工作,在实际工作中应根据场地的地质条件,有侧重地进行调查。

### 10.2 遥感解译

**10.2.1 遥感技术**已广泛应用在线路勘察工程中,工作的主要目的是查明不良地质作用的发育情况,为线路路径的选择和优化提供依据。

**10.2.2 遥感**是一种非接触的空间探测技术,受视域和覆盖的影响,通常需要和其他勘察方法配合进行,获得多元信息,才能获得令人满意的解译成果。

**10.2.3 本条几款内容**的规定是对线路勘察中遥感工作的基本要求。目前地质遥感资料主要来源于卫星遥感和航空遥感两个方面。考虑到航片的比例尺大,分辨率高,对地面的形态反映较好,故推荐航片解译为主。在可行性研究阶段,遥感解译工作主要是为路径的优化提供依据;初步设计阶段,遥感解译工作主要是解译线路走廊内有无对塔位稳定影响较大的不良地质作用,为路径方

案的选择提供依据。

遥感解译工作是一种间接的方法,需要有一定的实地检验工作,以提高解译精度。野外实地检验的目的是验证室内解译成果的正确性,补充室内漏译的地质现象,对照野外地物特征建立影像解译标志。

### 10.3 工程物探

**10.3.3** 规范中表 10.3.3 列出了线路岩土工程勘察常用的工程物探方法及其适用条件与应用范围。

电法为成熟物探方法,如果地形和电性条件适宜,可以发挥较大作用。

地质雷达在适宜的条件下,能得到良好的探测效果,尤其对于探测覆盖层厚度、探测岩溶洞穴和划分风化带等方面效果更佳。

声波勘探在探测软弱夹层和划分风化带方面效果较好。

### 10.4 勘探与测试

**10.4.3** 我国地域辽阔,在选择原位测试方法时,除应考虑勘察目的、岩土特性、工程要求等因素外,还应考虑地区经验。采用新的原位测试技术,应事先与成熟的测试方法和室内试验成果对比分析,当取得较好的相关关系时才能使用。

**10.4.4** 在进行室内试验时,应注意以下几点:

- 1 岩土试验方法和具体操作应符合现行国家标准。
- 2 试验项目和试验方法的选择应有明确的目的和针对性。
- 3 为保证试验数据的准确度,试验的仪器设备应定期检定和校准,应使用精度符合试验标准的仪器。
- 4 制备试样前,对岩土的性状进行描述、对土试样进行质量等级划分,有利于确定试验项目和校核试验成果。
- 5 岩土工程评价中水和土对建筑材料的腐蚀性评价是不可避免的,工程中应根据地下水位的埋藏情况,有针对性地进行水和土对建筑材料的腐蚀性分析。

## 11 特殊岩土分布区岩土工程勘察

### 11.1 湿陷性黄土

**11.1.1~11.1.3** 湿陷性黄土是指在一定压力下受水浸湿,土体结构迅速破坏,并产生显著附加沉降的黄土。根据线路工程的特点,在湿陷性黄土地区,可行性和初步设计阶段一般不针对具体的塔位开展勘察工作,主要针对线路路径或走廊进行搜集资料和现场调查工作。

**11.1.4** 施工图设计阶段,对于缺乏岩土资料的黄土台或黄土塬区,同一地貌单元不宜少于2个~3个探井,探井宜布置在转角塔位,较长耐张段的转角塔位应布置探井。

### 11.2 冻 土

**11.2.1** 冻土指具有负温或零温度并含有冰的岩土。季节冻土指冬季冻结而在夏季又全部融化的岩土;隔年冻土指按冻结状态的持续时间分为多年冻土、隔年冻土和季节冻土冬季冻结而翌年夏季并不融化的岩土;多年冻土指持续冻结时间在2年或2年以上的岩土。多年冻土在我国主要分布在青藏高原、帕米尔高原及西部高山,东北的大小兴安岭及其他高山顶部也有零星分布;季节冻土主要分布在长江流域以北、东北多年冻土南界以南和高海拔多年冻土下界以下的广大地区。

**11.2.3** 根据东北地区及青藏高原线路工程经验,冻土的冻胀性对线路工程危害较大,具体表现为冻胀力产生的上拔作用将铁塔基础拔起,使基础埋深逐年减小,甚至将基础拔断,最终基础失稳而发生倒塔。

**11.2.4** 根据西北电力设计院在“青藏直流联网线路工程”中的勘

测经验,在多年冻土区,当多年冻土厚度大且分布稳定时,可隔基勘探,以减少对多年冻土层的扰动。

### 11.3 软 土

**11.3.1** 软土指天然孔隙比大于或等于 1.0,且天然含水量大于液限的细粒土,包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。

**11.3.3** 软土的时代、成因等宜通过搜资和调查查明,并且应通过搜资和调查充分了解当地的软土处理经验。

**11.3.4** 静力触探试验被证明在软土地区是行之有效的一种勘察方法,它不仅可以缩短工作周期,还可提高勘察工作质量,因此本规范推荐以静力触探为主要勘察方法,辅以钻探等。

**11.3.5** 根据 Boussinesq 解,软土中附加应力等于上覆土自重应力的 10% 时对应的深度约为  $2b$ 。采用浅基础时,对转角塔、耐张塔、终端塔、跨越塔,勘察深度不宜小于基底下  $2b$ ,而直线塔可略为减少。

线路塔基主要受地基土体强度的控制,不需要进行沉降计算,当采用桩基础时,勘探深度宜取桩端平面以下  $3d \sim 5d$ ;若塔基对沉降有特殊要求,应根据设计要求确定勘探深度、使勘探深度满足沉降计算的要求。

**11.3.6** 条文中所列的两款内容是软土地基岩土工程分析和评价必须包含的,并且应重点考虑的。

### 11.4 膨胀岩土

**11.4.1** 膨胀岩土指含有大量亲水矿物,湿度变化时有较大体积变化,变形受约束时产生较大内应力的岩土。膨胀岩土包括膨胀岩和膨胀土,决定其胀缩性的内因是土体内含有大量亲水矿物,胀缩性的表现形式是湿度变化时有较大体积变化、变形受约束时产生较大内应力。膨胀岩土的判定,目前尚无统一的指标和方法,多年来采用综合判定。近 20 年来,现行国家标准《膨胀土地区建筑

技术规范》GBJ 112 在工业与民用建筑中应用较广泛,其中对膨胀土的判定方法和标准也是被工程界广泛采用的,本规范仍然推荐采用此判定方法和标准。膨胀岩的资料积累得不多,作为建筑物或构筑物地基时,可参照膨胀土的判定方法和标准进行判定。

**11.4.4** 施工图设计阶段勘察应查明具体塔位所在地的对杆塔地基强度、稳定和基础施工有影响的因素,并确定地基的岩土设计参数,对塔位所在地的稳定性进行评价,提出设计、施工和运行方面的岩土工程建议。条文中所列的内容第1款~第5款主要通过搜集资料、现场调查和计算分析进行。

**11.4.5** 在膨胀岩土地区,浅层滑坡及其他地表胀缩变形发育地带、易受地表径流影响及地下水位频繁变化地带,岩土体的后期改造作用比较强烈,线路施工和运行期间可能出现地基失稳等险情,塔位不宜选择在这些地带。

勘察深度应大于基础埋深加附加应力的影响深度与大气影响深度二者中的较大者,前者从工程作用的角度考虑、后者从自然作用的角度考虑,二者缺一不可。

**11.4.6** 现行国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112 对工业与民用建筑的其总平面设计、基础埋深、建筑和结构措施、施工和维护作了具体规定,这些规定对建在膨胀岩土上的杆塔也是适用的,应遵照执行。《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112 对坡地、地基处理也作了具体规定,工程需要时亦应遵照执行。但根据本次规范编写组调研的结果,已经建设或者已经完成勘察设计工作的线路工程,对坡地以避让为主,其杆塔均未涉及坡地;由于杆塔基础埋藏较深,也未涉及地基处理。

膨胀岩土含有大量亲水矿物、裂隙发育,当有水的作用时,裂隙构成了水的通道、亲水矿物遇水膨胀,使土体强度降低;施工可能改变地形而使大气影响范围发生改变、施工和运行可能改变土体的含水量等。这些因素都会影响岩土层的承载力、抗剪强度等设计参数,应充分考虑。

《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ 112 对地基计算也作了规定,当工程需要进行地基计算时宜遵照执行。但根据本次规范编写组调研的结果,已经建设或者已经完成勘察设计工作的线路工程,其杆塔均未进行地基计算。

## 11.5 红 黏 土

**11.5.1** 红黏土指颜色为棕红或褐黄色,覆盖于碳酸盐岩系之上的高塑性黏土。其液限大于或等于 50% 时,应判定为原生红黏土;原生红黏土经搬运、沉积后仍保留其基本特征,且其液限大于 45% 的黏土,可判定为次生红黏土。本节所指的红黏土是我国红土的一个亚类,即母岩为碳酸盐岩系,经湿热条件下的红土化作用形成的特殊类土。按照本条的定义,原生红黏土比较易于判定,但次生红黏土具备某种程度的过渡性质,实际工作中宜通过对第四纪地质和地貌的研究,根据红黏土特征保留的程度综合判定。

**11.5.3** 本条列出了红黏土区勘察应包括的主要内容,一般情况下,红黏土地段塔位的勘察可与岩溶勘察结合进行。

**11.5.4** 由于红黏土具有垂直方向状态变化大、水平方向厚度变化大的特点,而且底部常有软弱土层或土洞分布,基岩面的起伏也较大,应通过勘探予以查明。对于岩土组合的不均匀地基,勘探孔深度应进入稳定的基岩一定深度,以便进行地基的不均一性和稳定性评价。

当地基不均匀、岩土体内有洞穴发育时,施工图设计阶段勘察难以查明地基各岩土层的分布和所有土洞的发育情况,为确保工程安全和经济合理,进行施工勘察是必要的。基岩面起伏不平、基岩面倾斜或有临空面时,嵌岩桩容易失稳,当采用嵌岩桩时进行施工勘察也是必要的。

**11.5.5** 确定红黏土承载力时,应特别注意的是红黏土中裂隙的影响,裂隙的存在可能使地基承载力明显下降;地表裂缝也是红黏土地区的一种特有现象,其规模不等,长度可达数百米,深度可延



伸深地表下数米,所经之处地面建筑无一不受损坏,故评价时应建议塔基避免跨越地表裂缝密集带或伸长地段。

红黏土地基中塔基埋置深度的确定可能面临矛盾,从充分利用硬层和减轻下卧软层附加压力的角度而言,宜尽量浅埋,但从避免地面不利因素而言,又必须深于大气影响急剧层的深度,评价时应根据塔基的具体情况和当地的气象条件,提出合理的建议。如果不能满足承载力和变形要求,应建议进行地基处理或采用桩基础。

## 11.6 填 土

**11.6.1** 填土指由人类活动而形成的堆积物。根据物质组成和堆填方式可将填土分为下列四类:

素填土:由碎石土、砂土、粉土和黏性土等一种或几种材料组成,不含杂物或含杂物很少。

杂填土:含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物。

冲填土:由水力冲填泥砂形成。

压实填土:按一定标准控制材料成分、密度、含水量,分层压实或夯实而成。

**11.6.3、11.6.4** 填土勘察中应特别注意调查填土的主要成分、回填方式及原始地表形态。在大多数情况下,未经压实或未进行回填质量控制的填土不宜作为建筑地基使用。因此,填土区,特别是原始地形变化较大的区域,应逐基勘探,必要时宜按塔腿位置逐腿进行钻探,并穿透填土层。

## 11.7 风化岩与残积土

**11.7.1** 风化岩指岩石在风化营力作用下,其结构、成分和性质已产生不同程度变异的岩石。已完全风化成土而未经搬运的应定名为残积土。

**11.7.4** 对线路工程而言,风化岩与残积土地段一般采用天然地

基,应着重查明岩土的统一性及球状风化体或孤石的分布等。

**11.7.5** 根据线路工程的特点和风化岩与残积土的工程特性选用勘探方法,一般采用钻探结合动力触探进行。在进行不均匀地基和存在球状风化体或孤石地基的勘察时,应适当增加勘探点。

**11.7.6** 对于残积土,往往存在风化不均匀的特征,可根据工程要求进行细分。

## **11.8 盐 渍 土**

**11.8.1** 盐渍土指易溶盐含量大于0.3%,并具有溶陷、岩胀、腐蚀等工程特性的岩土。

**11.8.3** 施工图设计阶段盐渍土地区的勘察,除遵照本规范第9章的规定外,应重点对地下水和地表水的类型、埋深、水质及其季节性变化,含盐的定性、定量分析及其在岩土中的分布状况,盐渍土的溶陷、溶胀性和溶陷、溶胀等级进行勘察。应注意天然状态和浸水条件下的地基承载力的变化。

## **11.9 混 合 土**

**11.9.1** 混合土指由细粒土和粗粒土混杂且缺乏中间粒径的土。当碎石土中粒径小于0.075mm的细粒土质量超过总质量的25%时,应定名为粗粒混合土;当粉土或黏性土中粒径大于2mm的粗粒土质量超过总质量的25%时,应定名为细粒混合土。混合土是山区线路工程中常见的地基土之一。由于其颗粒粒径相差较大,根据粒径组成进一步分为粗粒混合土和细粒混合土,是为了更好的评价地基特性。

**11.9.3** 混合土的成因类型主要有坡积、洪积和冰水堆积等类型。

**11.9.4** 对于混合土,往往可以利用天然剖面进行观察,当需要较准确的定名和查明混合土厚度时,则需要采用井探、钻探和颗粒分析等方法。

**11.9.5** 混合土成因以堆积为主,利用其作为地基时应考虑成因

类型、下卧层性质和产状,分析判断地基的整体稳定性。

对于混合土的地基承载力和边坡容许坡度值,通过岩土参数进行计算确定是很困难的,因此条文规定可按现场调查或当地经验确定,现场调查主要对象是当地已有建筑物和工程建设情况。

## 12 特殊地质条件岩土工程勘察

### 12.1 岩溶与洞穴

**12.1.1** 本条为强制性条文。岩溶与洞穴是线路工程中最常见的不良地质作用,我国的超高压线路因为岩溶与洞穴问题造成地基处理费用过高、处理难度大甚至导致改线而影响工期、浪费资源的事例比较多。为了节约资源、节省投资,提高工程建设效率,保证工程建设和运行期间的安全,当线路经过对塔位安全有影响的岩溶强烈发育区时,进行岩溶专项勘察是必须的。

**12.1.2** 在岩溶与洞穴发育区进行勘察,首先应重视工程地质的研究,已有资料的搜集工作尤为重要。

在岩溶区进行工程建设,可能带来严重的工程稳定问题,因此在线路路径选择和方案优化时,应加深研究,预测其危害,作出正确选择。

由于岩溶和土洞是一种分布复杂的自然现象,宏观上虽有发育规律,但在具体塔位上,其分布的形态是无常的,为了查明岩溶和土洞在塔位处的具体分布及其对塔基的影响,进行施工勘察是需要的;对于特别复杂的场地和地基,即使是按塔腿布置勘探点,也难以满足设计和施工的要求,进行施工勘察是必要的。

**12.1.3** 岩溶塔基的勘探是在采用搜资和工程地质调查不能满足要求时进行,可以采取钻探、物探等方法。当各塔腿的条件相差比较大时,应分别进行勘探和评价,并提出处理意见。

**12.1.4** 本条列出几种不适合立塔的岩溶地质条件。

当溶沟、溶槽、石芽在塔基范围表面强烈发育时,地表起伏强烈,处理费用很高,故不宜立塔。

浅埋溶洞往往顶部岩体没有足够的支撑厚度,不足以承受塔基传递的荷重;土洞及塌陷密集区的地质条件短时间内很难查清,而且对塔基的危害往往是灾难性的,这些地段不宜设立塔位。

有些地段,勘察时可能没有明显的土洞和塌陷发育,但是,条件一旦变化,例如地下水位的波动等,也可能造成上覆土层侵蚀,产生塌陷,也属于不宜立塔的地段。

**12.1.5** 溶洞、溶蚀裂隙的尺寸较小,一般指宽度或直径小于 1m 的洞隙。

**12.1.6** 岩溶与洞穴勘察的岩土工程评价,强调对塔基稳定性和适宜性的评价,强调岩溶地基的处理方法。

## 12.2 滑 坡

**12.2.1** 本条为强制性条文。滑坡是线路工程中最常见的不良地质作用,我国曾有多条 330kV 或 500kV 线路因为滑坡造成倒塔断线事故,给国家和人民的财产造成了一定的损失,也造成了一定的能源浪费。为了保证工程的安全,拟建线路路径上或其附近存在对线路塔位安全有影响的滑坡或有滑坡可能时,进行滑坡专项勘察是必须的。

**12.2.2** 本条列出了滑坡勘察应重点了解和查明的 5 项内容。由于滑坡类型的复杂性,在具体工作中还要结合线路建设特点进行调查,特别是在进行路径方案和塔位选择时,只有了解滑坡最大可能的影响范围,才能确保线路和塔位的安全。

**12.2.3** 根据线路工程的特点,勘察工作宜以工程地质调查为主要方法。

地质灾害评估报告、国土部门进行的地质灾害小区划工作、航片等资料是搜集资料的重要内容。山区线路勘察经验表明,现场走访当地政府和居民对了解和掌握线路路径上是否存在滑坡很有帮助。

必要时进行少量勘探和物探等工作,是为了对调查结果进行

验证。

**12.2.4** 本条列出了对线路塔位安全有影响的 4 种典型情况,在这些地段设立塔位线路安全得不到保障,其防治和处理往往花费巨大,因此塔位宜避开这些地段。

人类活动通常是指修建各类工程、开挖边坡、弃土弃渣堆放、砍伐植被等,这些活动发生在线路塔位附近时往往可能影响塔位的稳定。

**12.2.5** 在滑坡易发地区或斜坡地质条件复杂的地段容易产生新的滑坡,设立塔位时应进行详细调查和评价,当调查不能满足需要时应进行必要的勘察。

### 12.3 崩塌与倒石堆

**12.3.1、12.3.2** 这两条规定了崩塌区勘察宜按勘察阶段进行,并规定了各阶段的勘察内容。

崩塌是斜坡岩土体的一种破坏形式,当线路经过崩塌区时,必须对其通过的适宜性与崩塌对塔基的危害性进行评价。当遇到下列条件时,应注意产生崩塌的可能性:

- 1 陡峻的斜坡地段,一般坡度大于  $55^{\circ}$ ,高度大于 30m,坡面不平整,上陡下缓;
- 2 陡坡多由硬质岩石构成,节理裂隙发育,岩体中的软弱结构面组合不利,岩体破碎;
- 3 当地昼夜与季节温差较大,物理风化作用强烈;
- 4 不合理的爆破开挖等人为活动使山体失衡。

**12.3.3、12.3.4** 这两条依据崩塌规模的大小对勘察工作进行了规定。大规模的崩塌处理费用高,采取避让的方法是合理的。对规模较小的崩塌,可以通过工程地质调查,查清崩塌特征与类型、崩塌体规模与危石的分布、岩体结构面的发育特征与相互组合关系,在此基础上提出解决办法。

**12.3.5** 倒石堆是崩塌等斜坡破坏的产物。倒石堆的勘察主要是

查明其堆积方式、堆积物组成、形成时间、堆积物的稳定性等,进而提出是否可以立塔的建议。

## 12.4 冲 沟

**12.4.1** 冲沟是线路勘察中经常遇到的一种不良地质现象,本条规定以工程地质调查为主要方法,是基于冲沟的发育、发展特征和勘察的目的。

冲沟的发育特征主要是指其形态、岩土构成、沟内堆积物、植被、坍塌与水土流失情况等的组合,应综合上述因素作出判断。

处于发育阶段的冲沟,沟底纵向坡度较陡,冲沟横断面是“V”形,沟底堆积物较新,无植被发育,沟壁陡立,并有新近坍塌滑落的痕迹,沟岸的水土流失严重。

处于衰老阶段的稳定冲沟,沟底纵向坡度较缓,冲沟的横断面是“U”形,沟岸平缓稳定,无新近坍塌和水土流失现象,植被发育。

**12.4.2、12.4.3** 这两条规定了各勘察阶段的主要工作内容。实际应用时,应依据冲沟的不同类型,有针对性地开展工作和抓住工作的重点。

岩质冲沟的工作重点是沟壁岩体的岩性特征、风化程度、岩体中结构面及坡面的产状与相互组合关系,还应包括结构面的充填情况及充填物特征。

松散堆积物构成的冲沟,工作的主要内容是查清沟坡土体的物理力学性质、沟壁的坡度及其坍塌与冲刷情况。

地表水流是冲沟发生发展的主要外部因素,因此,必要时应会同水文专业进行相关工作。

**12.4.4** 处于发育阶段的冲沟,其侧向侵蚀和向源侵蚀作用强,沟壁坍塌严重,沟的宽度还在继续扩大,严重时有可能暴发泥石流,因此,冲沟的延伸部位、沟壁附近和冲沟沟口不宜设立塔位。当塔位附近有冲沟存在且可以防护处理时,应及时处理,以免继续发展而影响塔基安全。

**12.4.5** 本条规定的安全距离可根据实际情况进行调整,在有可靠地方经验的地段,也可缩短。

**12.4.6** 本条规定了冲沟勘察的岩土工程评价内容,可以根据实际情况有所侧重。对于可以避让地段的岩土工程评价,应将重点放在第1款和第2款上;当无法避让时,应将评价重点放在第3款上。

## **12.5 泥 石 流**

**12.5.1** 本条为强制性条文。泥石流是山区线路常见的不良地质作用,对工程建设具有强烈的破坏作用,可能造成财产重大损失,其对线路塔位安全影响很大,因此拟建线路路径上或其附近存在对线路塔位安全有影响的泥石流时,进行泥石流专项勘察是必须的。

**12.5.2** 在可行性研究或初步设计阶段进行泥石流勘察,更能为路径方案的确定提供合理的建议。

泥石流的工程分类应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定。

**12.5.3** 本条规定了泥石流勘察的主要方法和调查的主要内容。

通常情况下开展专门的泥石流工程地质调查,结合遥感解译就能满足线路泥石流勘察的需要。例如,西南电力设计院和成都理工大学联合采用上述方法进行专题泥石流调查和勘察,有效解决了四川九龙——石棉 500kV 线路冕宁——拖乌山段泥石流群发育区线路路径方案和塔位选择问题。

**12.5.4** 本条列出的三类地段都是泥石流破坏作用最强烈的地段,因此在选择塔位时应避开。

## **12.6 地 震 液 化**

**12.6.1** 本条明确了在高烈度区进行地震液化评价的条件。

根据我国地震的实际记录,线路杆塔地基和基础在震后基本



没有因地基土液化而产生较严重的灾害。地震灾害调查发现,采用桩基础的杆塔震害轻微或完好;采用整体式联合基础和拉线的杆塔具有较好的抗震性能。因此,设计一般在液化地区采用桩基、整体式联合基础或拉线杆塔作为抗震措施。考虑到大面积全面设防耗资太大,本条规定以外的其他杆塔一般仍按常规设计,不需进行地震液化评价。

## 12.7 采 空 区

**12.7.1** 采空区是矿产分布区常见的不良现象,对工程建设影响比较大,尤其是规模较大、尚未稳定的采空区,对线路塔位安全影响很大,当缺乏建设经验时应进行专门勘察。

**12.7.2** 采空区勘察包括对现有采空区和规划采空区的勘察,规划采空区指在线路运行寿命内计划开采的矿区。

可行性研究阶段,应通过搜资了解采空区的范围,提出避让建议。对必经的采空区,则应经过详细的搜资与调查,分析其对线路路径的影响,作出客观评价。

初步设计阶段,在可行性研究基础上,进一步查清线路沿线采空区情况。对已确定的转角塔,勘察深度要满足施工图设计的要求。

施工图设计阶段定位勘察时,应逐基查明采空区情况,分析采空区对杆塔的影响,提出对采空区、杆塔地基、基础处理或变形监测的建议。

**12.7.3** 对大规模采空区,勘察手段主要是搜集调查有关资料。在施工图设计阶段定位勘察时,有些塔位通过搜资调查不能查明采空区情况,塔位位置又不能调整,这时可辅以工程地质测绘或适量的勘探工作,勘探手段可选择物探或钻探。本条列出的工作内容对分析地表变形特征及评价其对线路的影响很有意义。

**12.7.4** 本条规定了在线路路径选择时应考虑的几种情况,目的是最大限度的减少采空区对线路的影响。如:选择跨越采空区最

短或采矿分布稀疏处通过的线路,可采用大档跨越的方式避让或通过采空区;选择留设矿柱的地段、主巷道上有安全带的地带通过的线路,可大幅减小或消除地表变形对线路的影响。

#### **12.7.5 本条规定了塔位选择时应考虑的几种情况。**

充分采动是指采空面积的长度和宽度分别等于或大于开采深度时,地表移动盆地呈盘状、地表出现应有的最大下沉值的情况。此时盆地中心的变形不再继续增大,因此可以立塔。

采空区顶板岩体厚度较大、坚硬完整时,可为上部杆塔提供良好的支撑,地表变形小,可以立塔。

矿区无矿带或有矿柱的地段,如主巷道、副巷道、主井、副井、通风井、矿区内主要运煤道路附近是矿区的“安全岛”,可以立塔;村庄、铁路、河流、水库等重要设施一般留有煤柱,其附近也可考虑立塔。

采空区塔位附近如有临空面或冲沟,应经过现场勘察,评价其可能的影响范围,将塔位立于影响范围之外,一般距临空面或冲沟边缘的保护距离宜大于 20m。

#### **12.7.6 小窑采空区一般情况下资料缺乏,而且难于搜集,因此必要时辅以适量的勘探工作。根据情况可以选择钻探、物探等一种或者多种勘探方法。**

由于小窑采空区开采范围小,且往往开采深度浅,顶板自由垮落,造成地表变形强烈,多形成较宽的裂缝和局部塌陷。应根据现场勘察评价裂缝和塌陷可能的影响范围,将塔位立于影响范围之外,一般距裂缝和塌陷边缘的保护距离宜大于 20m。

## 13 原体试验

### 13.1 一般规定

**13.1.1** 条文中列举的四种基础型式,当其作为杆塔基础时,其承载力对基础设计一般起控制作用,不通过试验较难准确确定,并且地质条件及施工工艺对这类基础的影响也较大。原状土基础包括掏挖基础、机扩基础、爆扩底基础等。

**13.1.2** 原体试验是线路岩土工程的一项较重要的工作,是优化地基基础设计方案的重要手段;原体试验不仅要为杆塔设计提供准确的参数,还应发现施工中的岩土工程问题,为制定基础施工和质量检测方案提供依据。

**13.1.3** 本条对宜进行原体试验的条件作了较明确的规定,主要考虑三方面的因素:塔的重要性、经济性和安全性。

**13.1.5** 当地建筑经验对原体试验设计非常重要,另外各地相继颁布了相应的地基基础设计和地基处理技术标准 and 文件,原体试验设计应注意有关地方规定。

### 13.2 基桩原体试验

**13.2.1** 基桩原体试验应为综合试验,其原因如下:

1 线路塔基不仅承受竖向抗压荷载,同时还承受抗拔和水平荷载。

2 试验应为地基基础设计优化提供参数。

3 试验应为工程桩质量检测积累经验。

**13.2.3** 对于大吨位桩基静载试验,当采用堆载法时,有安装难度增大、基准桩受堆载体的影响难以避免,并且存在安全隐患,因此应尽量采用锚桩法。

### **13.3 锚杆基础和原状土基础试验**

**13.3.1** 锚杆基础、原状土基础试验必要时应进行竖向抗压静载试验或水平试验,主要是考虑线路基础承受的抗压及水平承载力也较大,当按经验估算的值对塔基基础设计起控制作用或缺乏经验时应进行这方面试验。

### **13.4 原体试验成果编制**

**13.4.1** 原体试验成果编制应包括条文中规定的内容,除应提供试验有关参数外,应对原体试验与场地的适应性作出评价和说明,提出可改进的方面。

**13.4.3** 试验图表和附件包括施工竣工报告、检验专题报告等。

## 14 基 坑 检 验

**14.0.1** 基坑检验是整个线路岩土工程勘察工作的重要一环,目的是使设计依据的资料符合场地工程地质条件,为线路安全运行创造条件。

基坑检验工作是在原来勘察成果的基础上进行的,因此参加检验的人员应充分搜集、熟悉相关资料。检验工作的形式可以是以工地代表的身份与设计 and 监理人员一起工作,也可以是应设计或施工单位的要求赴现场工作。

**14.0.2** 本条基于以往的工程经验,对需要进行基坑检验的情况作了规定。

**14.0.4** 基坑检验,应首先对开挖所揭露的岩土特征进行鉴定,当与原来资料有较大差异时,或由于基础形式更改等原因,原有资料无法满足要求,应进行适当的补充勘察或施工勘察。

另外由于塔基施工现场环境条件发生变化,常常引起一些新的岩土工程问题,此时应与设计及施工人员密切配合,妥善解决这些问题。

## 15 岩土工程勘察成果

### 15.1 一般规定

**15.1.1** 用岩土工程勘察报告反映线路勘察成果,是电力行业几十年的习惯作法。与发电工程、房屋建筑工程不同,线路工程无论其工程规模大小与否,场地岩土工程条件复杂与否,其勘察成果均宜用勘察报告的形式提供。

**15.1.2、15.1.4** 岩土工程勘察报告是与勘察阶段相对应的,每一阶段设计要求不同,每一个工程的特点也不同,线路沿线的工程地质条件更是千变万化,这些在勘察报告中应有所体现。报告不能泛泛而谈,要因地制宜,重点突出,要有明确的工程针对性。

**15.1.3** 原始资料是编制岩土工程勘察报告的基础,一定要保证其准确无误后方可使用。对于搜集的资料,由于其依据的规程规范可能和现今的执行标准不同,以及不同行业标准间也存在一定差异,因此应按照现行标准进行识别,鉴别其可用性和适宜性,并在引用过程中说明其来源。这些年来,通报批评的一些勘察事故,多是由于对原始资料的检查、整理、分析、鉴定不够重视,导致勘察成果没有能如实反映勘察实际情况,甚至造成假象,导致分析评价失误,本条予以强调,以引起足够重视。

### 15.2 可行性研究阶段

**15.2.1** 本条规定了可行性研究阶段岩土工程勘察报告的基本内容。

可行性研究阶段岩土工程勘察报告要侧重于对影响路径成立的稳定性问题和对投资有较大影响的岩土工程问题作出初步分析和评价。

### 15.3 初步设计阶段

**15.3.1** 本条规定了初步设计阶段岩土工程勘察报告的基本内容。

初步设计阶段岩土工程勘察报告要侧重于对影响拟建线路路径方案的稳定性问题和其他主要岩土工程问题作出具体的分析和评价。

### 15.4 施工图设计阶段

**15.4.1** 施工图设计阶段勘察是针对具体塔基或具体的地质问题进行工作。因此,其勘察成果除岩土工程勘察报告外,还应附塔位工程地质条件明细表。

**15.4.2、15.4.3** 这两条规定了施工图设计阶段岩土工程勘察成果的主要内容。岩土工程勘察报告是对沿线岩土工程条件的综合性评价和沿线重大岩土工程问题的分析评价。塔位工程地质条件明细表是每一塔位岩土工程条件的具体反映,其基本内容必须全面、准确,例如岩土类别、黏性土的状态、砂类土与碎石类土的密实度、岩体的风化等级与结构类型分类、地下水位、不良地质现象等,对条件比较复杂的塔位,必要时应辅以相应的图件说明。

## 16 可行性研究阶段工程水文勘测

### 16.1 一般规定

**16.1.1** 可行性研究阶段工程水文勘测工作应对各拟定的路径方案进行初步搜资、踏勘和调查。其工作深度应达到方案选择的要求,即在比选的多个路径方案中,能够对其水文特点有一定的了解,如有无影响路径方案的分蓄洪区、水利规划、大的水淹区等,以便从水文专业角度对方案进行比较,从中推荐水文条件较好的可行方案。

**16.1.2** 本条是路径方案选择中的限制性条款,即跨越江河、湖泊、水库、海湾河口等水文条件的要求,是在总结国内架空输电线路工程勘测、设计与运行经验的基础上提出来的。在方案比选时可作为比较的几个基本要素。

**16.1.3** 可研阶段工程水文勘测要求达到方案比选的深度,搜集资料、调查以及是否进行现场查勘等,可根据路径方案水文条件的复杂程度和勘测任务要求来掌握。

### 16.2 勘测内容深度与技术要求

**16.2.1** 本条列举了本阶段水文勘测搜集资料的主要内容。

**16.2.2** 本条列举了本阶段水文调查的主要内容。

**16.2.3** 本条列举了本阶段应初步分析论述的主要水文问题。

### 16.3 勘测成果

**16.3.1** 本条规定了可行性研究阶段水文勘测报告的主要内容。当线路方案跨越河流、分蓄洪区时需要征求相关行业主管部门的意见或建议,并将其要求反映在水文勘测报告中,以供设计专业优



选路径方案时参考。通过本阶段的勘测工作,从水文条件进行初步分析,提出各方案的主要有利条件及存在的问题和可能需要采取的工程治理措施,对各方案按优劣顺序排序。

## 17 初步设计阶段工程水文勘测

### 17.1 一般规定

**17.1.1** 初步设计阶段水文勘测的任务是为路径方案的比较、优化从本专业角度提出意见或建议。

**17.1.2、17.1.3** 跨越河道、分蓄洪区时应按照防洪法、河道管理条例等法律法规要求进行防洪评价专题论证,并根据论证结论对路径方案进行优化。

### 17.2 勘测内容深度与技术要求

**17.2.1** 本条列举了初步设计阶段线路工程跨越江河、内涝区、分蓄洪区、湖泊、水库、海湾、河口等地区应搜集的水文资料的主要内容及技术要求。防洪排涝工程包括堤防、闸、泵站等。

**17.2.2** 本条列举了初步设计阶段线路工程洪水、内涝、分蓄洪区、湖泊、水库、海湾、河口等各项水文调查的主要内容及技术要求。

**17.2.3** 对初步设计阶段水文分析计算的主要内容、深度作出规定。对于重要跨越的设计洪水位应采用合理可行的水文分析方法进行计算,并初步分析跨越岸滩的稳定性、堤防安全性对路径方案的影响,为线路路径的优化提供水文依据。

### 17.3 勘测成果

**17.3.1** 本条规定了初步设计阶段水文勘测报告的主要内容。

**17.3.2** 对于重要跨越的河床稳定性分析、堤防溃口等问题必要时应进行专题论证,为线路路径的优化提供水文依据。跨越河段或海岸的稳定性直接影响到塔基的安全,堤防溃口产生的局部冲

刷坑可能会影响到塔基的安全稳定,对于诸如此类影响到塔基安全或使工程投资产生较大变化的水文问题,在初步设计阶段路径优化时应进行专题研究。

## 18 施工图设计阶段工程水文勘测

### 18.1 一般规定

**18.1.1** 本阶段水文勘测工作的重点是对初步设计阶段的水文勘测资料进行全面复核,并补充查勘初步设计中塔位附近未勘测的小河、冲沟、小水库、局部内涝点等,对受水文条件影响的塔基进行详细水文勘测,提供定位所需的水文勘测成果。

**18.1.2** 本条规定了水文勘测定位中需要考虑的水文条件:

1 溃堤、溃坝洪水产生的危害可能影响塔基的安全,在有条件时应尽量利用不受洪水影响的地形、防洪标准达标的堤防以及避开可能受溃堤、溃坝影响的地段。

2 在河道管理范围内立塔,一方面需要遵守相应的水利法规对建设线路工程的要求,另一方面需要考虑塔基自身安全,避免因洪水威胁引起的塔基安全问题。

3 水中立塔应避开主流区,尽可能在稳定的河岸、河滩立塔。

4 分蓄洪区口门附近水流流速较大,产生的冲刷坑的规模也大,应避免在分洪口门附近立塔。立塔后分洪水流会在塔基周围产生局部冲刷,其规模与塔基和分洪口门的相对位置、水流流速、土壤特性、塔基基础形式及尺寸等有关。

**18.1.3** 对于受水文条件影响的塔基勘测,本阶段应进行现场水文勘测,以便复核初步设计阶段提出的水文成果的合理性。另外,由于存在线路高程系统和水位高程系统不一致的可能,因此要求对水文分析计算的水位成果及其高程系统转换关系进行复核,故也要求本阶段进行现场水文勘测。

## 18.2 勘测内容深度与技术要求

**18.2.1** 本阶段水文勘测工作的重点是针对初步设计阶段勘测以来流域水文条件的变化或设计方案的变更、水文要素特大值的出现,以及其他遗留问题等进行补充调查、搜集资料与分析,提供塔位勘测设计的水文成果。

**18.2.2** 各种设计频率的洪水位,如频率为1%、2%、3.3%、5%、10%、20%等可根据设计要求进行分析计算,通航河流的最高通航水位洪水频率标准必须按照《内河通航标准》GB 50139 相关规定执行。

**18.2.3** 堤防工程的级别及设计标准按《堤防工程设计规范》GB 50286确定。堤防质量的判断除了参考其设计标准之外,还应考虑其实际达标与否,历史上是否存在因堤防质量问题产生过险情、堤防部门的意见,并通过现场调查勘测等途径综合判断。

**18.2.4** 在水中或河滩立塔时,一方面由于水流对河床、岸滩的作用,使得河床发生冲淤变化,产生天然冲刷,这是立塔之前就会发生的河床变化问题;另一方面,立塔后塔基周围的河床会因塔基对水流的阻力在其周围产生局部冲刷。无论是天然冲刷,还是局部冲刷,其对塔基的安全稳定的影响都是需要认真分析的。

1 河床的天然冲刷是河流在发育成长中的变形或河床在来水来沙条件下的天然演变,如边滩、沙洲的移动,河弯的发展、移动和天然的裁弯取直等所引起的河槽变形。对于河床的天然冲刷,可通过搜集塔位上下游或临近河段或海床的历年水下地形图或海图来分析判断;也可通过调查跨越断面或同一河段相似河床断面的多年变化规律来初步估计。

2 局部冲刷是由于塔位基础阻挡水流产生的水流冲击和涡流作用,在塔基周围形成的河床局部变形。随着工程勘测设计水平的不断提高,对于局部冲刷规律的认识也不断更新,局部冲刷的分析计算宜采用新的成果和方法。目前关于局部冲刷的计算公式

宜采用《公路工程水文勘测设计规范》JTJ C30—2002 中推荐的 65-2 公式和 65-1 修正式以及黏性土河床局部冲刷公式。计算局部冲刷时洪水位采用 100 年一遇,对于无资料地区或计算困难的地区,可采用调查的历史最高洪水位,这是为了与线路工程的防洪标准相适应。

1)非黏性土河床桥墩局部冲刷计算公式。

a)65-2 式:

$$\text{当 } V \leq V_0 \quad h_b = K_\xi K_{\eta_2} B_1^{0.6} h_p^{0.15} \left( \frac{V - V_0'}{V_0} \right) \quad (13)$$

$$\text{当 } V > V_0 \quad h_b = K_\xi K_{\eta_2} B_1^{0.6} h_p^{0.15} \left( \frac{V - V_0'}{V_0} \right)^{n_2} \quad (14)$$

$$K_{\eta_2} = \frac{0.0023}{\bar{d}^{2.2}} + 0.375 \bar{d}^{0.24}$$

$$V_0 = 0.28(\bar{d} + 0.7)^{0.5}$$

$$V_0' = 0.12(\bar{d} + 0.5)^{0.55}$$

$$n_2 = \left( \frac{V_0'}{V} \right)^{0.23 + 0.19 \lg \bar{d}}$$

式中:  $h_b$ ——桥墩局部冲刷深度(m);

$K_\xi$ ——墩形系数,矩形取  $K_\xi = 1.24$ ,圆形取  $K_\xi = 0.85$ ,其他取  $K_\xi = 1.2$ ;或查相关参考资料;

$B_1$ ——桥墩计算宽度(m);取迎水面宽度;当水流与迎水面有偏角时,按偏角折算;

$h_p$ ——一般冲刷后的最大水深(m);

$\bar{d}$ ——河床泥沙平均粒径(mm);

$K_{\eta_2}$ ——河床颗粒影响系数;

$V$ ——一般冲刷后墩前行近流速(m/s);可采用一般冲刷后的墩前垂线平均流速,或采用计算一般冲刷时的冲止流速;

$V_0$ ——河床泥沙起动流速(m/s);

$V'_0$ ——墩前泥沙起冲流速(m/s)；

$n_2$ ——指数。

b)65-1 修正式：

$$\text{当 } V \leq V_0 \quad h_b = K_\xi K_{\eta_1} B_1^{0.6} (V - V'_0) \quad (15)$$

$$\text{当 } V > V_0 \quad h_b = K_\xi K_{\eta_1} B_1^{0.6} (V_0 - V'_0) \left( \frac{V - V'_0}{V_0 - V'_0} \right)^{n_1} \quad (16)$$

$$K_{\eta_1} = 0.8 \left( \frac{1}{\bar{d}^{0.45}} + \frac{1}{\bar{d}^{0.15}} \right)$$

$$V_0 = 0.0246 \left( \frac{h_p}{\bar{d}} \right)^{0.14} \sqrt{332\bar{d} + \frac{10 + h_p}{\bar{d}^{0.72}}}$$

$$V'_0 = 0.462 \left( \frac{\bar{d}}{B_1} \right)^{0.06} V_0$$

$$n_1 = \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0.25 \bar{d}^{0.19}}$$

式中： $K_{\eta_1}$ ——河床颗粒影响系数；

$n_1$ ——指数。

2)黏性土河床桥墩局部冲刷计算公式。

$$\text{当 } \frac{h_p}{B_1} \geq 2.5 \text{ 时} \quad h_b = 0.83 K_\xi B_1^{0.6} I_L^{1.25} V \quad (17)$$

$$\text{当 } \frac{h_p}{B_1} < 2.5 \text{ 时} \quad h_b = 0.55 K_\xi B_1^{0.6} h_p^{0.1} I_L^{1.0} V \quad (18)$$

式中： $I_L$ ——冲刷坑范围内黏性土液性指数，适用范围为 0.16～1.48。

**18.2.5** 若线路工程塔位位于水库下游且地势较低时，应搜集水库设计资料，掌握水库竣工的验收意见，对坝体质量、结构性能、基础稳定性因素结合现场调查进行分析，在此基础上论证溃坝可能性、溃坝方式，以及溃坝对塔位的影响。有些水库设计洪水标准达到或高于线路工程 100 年一遇防洪设计标准，但实际上未达到原定设计标准，甚至是坝体质量差的险库，因此有溃坝可能。而有些大江大河的径流式水电站和航电枢纽工程，其防洪设计标准往往

低于线路工程的防洪标准,但其防洪校核标准却高于线路工程的防洪标准,由于径流式水电站不具备防洪调蓄功能,在发生超过水电站防洪设计标准洪水时,上游来多少洪水就可以下泄多少洪水,因此在坝体质量合格和正常运行下,水库溃坝的可能性极小,这时就可以不考虑溃坝洪水的影响。

有关溃坝洪水计算公式见本规范第20.4.4条条文说明。

### 18.3 勘测成果

**18.3.1** 本阶段工程水文勘测报告侧重于塔位水文条件分析计算成果的论述,并宜配合图、表、照片等。本条规定了水文报告中应重点论述的几个方面,由于沿线水文条件的复杂性,应根据具体水文问题具体分析,特别是对影响塔位安全的水文事件要充分论证,对影响塔位安全的水文问题可提出相应的工程治理措施的意见或建议。



## 19 水文查勘

### 19.1 一般规定

**19.1.1~19.1.3** 对线路工程水文查勘的主要内容进行说明。

**19.1.4** 强调水文调查资料应在现场整理,以便发现问题及时复核。根据水文调查规范,为减少水文勘测人员认知上的差异造成水文调查成果的主观误差,水文调查时应至少2名人员参加。

### 19.2 人类活动影响调查

**19.2.1~19.2.5** 人类活动的方式多种多样,如兴修水库、堤防、涵闸等,其对流域环境改变的影响可能是长期的,这种改变的趋势可能是单一的,也有可能是复杂的,故其调查要针对工程设施的特性考察其影响特征,并分析其影响变化对塔基安全性的影响。

### 19.3 洪涝调查

**19.3.1** 洪水调查内容主要是河段选择、洪痕可靠程度评价、测量精度要求等。除掌握调查洪水资料外,还应当通过历史文献、文物资料的考证,进一步了解更长历史时期内大洪水发生的情况和次数,可以分析各次洪水的量级范围与大小序位,以便合理确定历史洪水的重现期。

**19.3.6** 内涝问题是线路工程水文勘测过程中经常要调查的内容之一。调查内容是根据线路杆塔基础设计的洪水标准要求来确定的。通常要调查历史或100年一遇最高内涝水位、常年或5年一遇最高内涝水位及持续时间。

**19.3.7** 洪水痕迹可靠程度评定标准按表8确定。

表 8 洪水痕迹可靠程度评定标准

评定因素	等 级		
	可 靠	较可靠	供参考
洪水发生情况	亲身所见,印象深刻,讲得逼真、确切	亲身所见,印象深刻,所述情况较逼真,尚确切	听传说或印象不深,所述情况不够清楚具体,不甚确切
旁证情况	旁证较多且确凿	有旁证资料	缺乏旁证
标志物和洪痕情况	标志物固定,洪痕位置具体或有明显的洪痕	标志物变化不大,洪痕位置不甚逼真,尚确切	标志物已有较大的变化,洪痕位置不够具体或无痕迹
估计可能误差范围(m)	0.2 以内	0.2~0.5	0.5~1.0

#### 19.4 河床演变调查

**19.4.1** 河床演变调查应有一定的河道长度,其范围一般根据跨越河段的冲淤变化与人类活动影响的特点确定,一般可从塔位上下游相对稳定的控制点划分,太长增加太多工作量,太短不满足调查要求,调查的范围需恰当反映河段冲淤变化特点。

**19.4.2、19.4.3** 这两条是对河床演变调查的内容与方法的要求。河床演变调查是河床演变分析工作中最基本的途径,对于有资料地区应查勘与河床地形图分析相结合。对流域开发与整治工程对河床演变的影响,应结合调查与模型试验或相关研究成果的手段,对河床的现阶段以及未来 30 年~50 年的影响趋势作出分析判断。

**19.4.4** 水文勘测工作河床质取样的目的是为塔基局部冲刷分析计算提供土壤岩性和颗粒等地质资料。

#### 19.5 冰情及河流漂浮物调查

**19.5.1、19.5.2** 对发生冰塞、冰坝的河段,调查其形成条件包括河流走向、河流长度、比降、水面宽、河流弯曲系数、河道形态和纵、横断面特征、气象因素等。根据线路塔位基础设计的要求,除承受塔基荷载外,尚需考虑水动压力、流冰和漂浮物的撞击力、冰冻胀

力和波浪冲击力等荷载,故此方面的调查对塔基稳定性分析有意义。

## 19.6 特殊地区水文调查

**19.6.1** 结合现场调查对特殊地区立塔提出了要求,有助于塔位稳定性分析。泥石流调查评价属地质灾害评价内容,本项调查以岩土专业为主,水文专业配合。

泥石流是在暴雨或融雪、冰川、水体溃决激发下发生的。形成泥石流必须同时具备陡峻的地形、丰富松散的固体物质和足够的水源三个条件,而三者发生、发展、转换和组合,则是构成各种不同类型泥石流的重要因素。

泥石流查勘目的在于鉴别泥石流,掌握其活动规律,预估其对塔位稳定性的影响。

泥痕调查法和洪水调查法基本相同。由于泥石流冲淤变化大,在选择断面时,宜选在冲淤变化较小的河段,即流通段。

在无人烟地区调查泥石流,可根据泥石流运动及堆积特征留下的痕迹来确定泥位。由于不能直接获得泥石流出现频率的调查资料,因此对于由降雨形成的泥石流,可利用形成该次泥石流的暴雨资料,将暴雨出现的重现期近似地作为泥石流流量的重现期。

今后是否发生泥石流,应从泥石流形成的三个条件,结合历史上发生泥石流的情况与地质专业共同综合分析判断。

**19.6.2** 岩溶地区地表与地下流域面积不一致,伏流暗河区具有明显控泄、滞洪作用,宜重点查明最大积水高度。

用流量资料计算设计洪水时,应了解伏流暗河区无压、有压出流特征和不同量级洪水的滞洪总量大小,滞洪时间长短,峰现滞时和入流、出流差异及其对设计断面峰、量组成的影响。

## 20 水文分析计算

### 20.1 一般规定

**20.1.1** 架空输电线路的设计洪水分析计算,重点是设计洪水位,而设计洪峰流量主要用于推算设计洪水位,有时也作为核算河道安全泄量、分洪、泄洪计算用。

插补延长的暴雨、洪水资料的可靠程度,受基本资料的精度、实测点据的数量及变化幅度、相关程度以及外延幅度等多种因素的影响,因此任何一个因素都可能影响插补延长的质量,应从上下游的水量平衡,本站长短时段洪量变化及降雨径流关系的变化规律等方面进行综合分析,检查插补成果的合理性。

我国地域辽阔,水文气象条件复杂,变化较大。采用暴雨径流计算公式计算设计洪水时,应采用两种以上方法,以便互相验证。

**20.1.2** 若两站流域面积相差超过了3%而不大于20%,且暴雨分布较均匀,区间河道无特殊调蓄作用时,可用面积比例法推算设计洪峰流量,计算公式如下:

$$Q_x = \left( \frac{F_x}{F_n} \right)^a Q_n \quad (19)$$

式中:  $Q_x$ 、 $Q_n$ ——分别为塔位断面与参证站的流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$F_x$ 、 $F_n$ ——分别为塔位断面与参证站控制流域面积( $\text{km}^2$ );

$a$ ——指数,有资料时,用本河流上、下游或邻近河流实测资料分析确定,无资料时,可按经验数据取值,大中河流取  $a=0.5\sim0.7$ ,较小河流取  $a=0.7\sim1.0$ 。

如果在塔位断面或设计站的上、下游站均有实测流量资料,则可按流域面积直接内插,即:

$$Q_x = Q_a + (Q_b - Q_a) \frac{F_x - F_i}{F_b - F_i} \quad (20)$$

式中:  $Q_x$ 、 $Q_a$ 、 $Q_b$ ——分别表示塔位断面和上、下游站的设计洪峰流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$F_x$ 、 $F_a$ 、 $F_b$ ——分别为塔位断面和上、下游站的控制流域面积( $\text{km}^2$ )。

## 20.2 天然河流设计洪水

**20.2.1** 对相关水库、水闸、分洪工程、桥涵工程等的设计成果、统计的水文系列经复核后可利用,如满足塔位洪水计算要求,则可直接引用,否则,应加以修正后或另行计算。

当直接通过调查多次历史洪水来确定设计洪水流量时,历史洪水流量资料可根据河段特性选取相应的变差系数  $C_v$ 、偏态系数  $C_s$  值,再根据相应于历史洪水流量重现期的模比系数反求均值,然后再按与设计频率相应的模比系数及推算的流量均值,推算设计洪水流量。

**20.2.2** 平原地区由于地势平坦,洪水时因溃堤、破圩的相互影响,往往使各汇水区相互串通。由于溃堤、分洪后滩地巨大调蓄的影响,使得塔位处和上、下游水文站的最大洪峰流量常常相差很悬殊。这时,应用流量资料推求设计洪水会有较大的困难,应先将资料还原,而后进行统计分析推求。

**20.2.3** 利用当地排涝公式时,应对成果值进行合理性分析。当地水利部门制定的排涝公式,由于排涝设计洪水标准较低,故其统计的实测资料,基本是不出槽的洪水。由于平原漫滩槽蓄的巨大影响,并未在排涝公式中予以反映,因此直接应用推求较大洪水流量往往会偏大很多,故应参照有关成果资料多作比较分析。

**20.2.4** 对于多数中小平原河流其堤防设计标准未达 100 年一遇,此时往往漫溢溃堤,其设计洪水位视河段特点而确定。一般宽浅河道在大洪水时范围很大,可根据河段具体情况结合历史漫溢

范围和河道两岸地形条件,概化确定边界,利用曼宁公式计算水位。

### 20.3 水库上下游设计洪水

**20.3.1** 水库实际的防洪标准是指水库经过竣工验收认定的洪水标准,有可能并未达到设计的防洪标准。为此应深入水库现场多作调查了解,掌握竣工验收意见、汛期防洪管理运用等多方面情况后进行分析。

**20.3.2** 库区沿程淤积回水的推算方法一般是依据水库淤积计算,确定设计年限内各断面的淤积面积,其淤积形态可按平均分布考虑,重新计算各断面的水力因素,然后按一般回水计算方法进行推算。河道淤积后的糙率,为安全计,建议库尾附近河段采用淤积前糙率,库区采用值可考虑比淤积前小一些,如降低 10%~20%。在淤积影响不大时,可用简易法计算。

### 20.4 溃堤溃坝洪水

**20.4.1** 堤内台地现状包括标高、宽度、坡度和土质;堤防三度指标包括高度、宽度、坡度。当在大堤背水面立塔时,应分析塔位附近堤段是否有溃堤的可能。根据实践经验,从以下两方面考虑:

1 堤防的标准,即堤防的等级。防洪标准不高、土质较差、堤身单薄处的堤段有溃堤的可能。

2 若大堤迎水面台地高程较高,且有一定的宽度,土质抗冲性能良好,可不考虑溃堤的可能;若大堤迎水面无台地,河泓逼近堤脚,或迎水面台地较窄、土质差,难以抗拒河床的横向冲刷时,则应考虑溃堤的可能。

**20.4.2** 关于溃堤洪水对塔基的影响,主要按下述方法进行分析估算确定。

1 溃堤下泄水流的流速与冲刷。根据以往在水文勘测中所遇到的情况,山前平原区河道的 100 年一遇超标准洪水位,大多数

平堤顶。因此,选定溃堤水位与堤顶标高相同。当决口位置无法确定时,为安全计,假定决口位置在杆塔等工程建筑物附近。

溃堤初始,由于河水位高于堤背水面地面,具有较大的水头,水体蓄存着巨大的势能。在重力的作用下,下泄水流转化为巨大的动能,即下泄水流到达地面时,动能表现为巨大的流速,且紊动强度较大,形成水流湍急的旋涡流,远大于泥沙的起动流速。实测资料见表9。在下游产生水跃,掀动并带走地面泥沙,产生局部消能冲刷坑。溃堤初始呈非淹没流,以堰流的形式下泄,堤一旦溃决后,缺口将很快扩宽、冲深,至使地面形成类似平底堰式的分洪口门,水流则演变为淹没流。由于这种溃堤局部消能冲刷坑对塔基的安全威胁很大,因此,在线路工程勘测设计中需要正确估计冲刷坑的尺寸,以便制定设计方案。

表9 河南省南阳地区自溃坝历次试验实测流速(m/s)

试验坝名称	试验坝高 (m)	实测溃口 最大流速	实测溃口后收缩 断面处最大流速
1:1 斜率斜墙砂壳坝 (简易引冲槽)	1.4	2.93	(5.37)
1:1 斜率斜墙砂壳坝 (简易引冲槽)	2.8	6.10	(7.60)
1:1 斜率斜墙砂壳坝 (永久引冲槽)	2.8	5.86	(7.60)
1:0.143 斜率心墙砂壳坝 (简易引冲槽)	2.8	5.01	(7.60)
1:2 斜率斜墙砂壳坝 (简易引冲槽)	2.8	5.65	(7.60)
1:1 斜率斜墙砂壳坝 (简易引冲槽)	5.6	5.74	8.52
1:0.17 斜率心墙砂壳坝 (原型)	5.6	7.25	9.75

2 由于溃堤下泄水流局部消能冲刷坑在形成的过程中,先后受到了跌落水流和淹没流两种性质不同水流的冲刷作用,建议按下式计算:

$$h = \frac{0.78q \sqrt{2a}}{\sqrt{\left(\frac{G_1}{G} - 1\right) g \bar{d} \left[\frac{h_k}{\bar{d}}\right]^{\frac{1}{6}}}} - h_k \quad (21)$$

或

$$h = \frac{1.157q}{\sqrt{\left(\frac{G_1}{G} - 1\right) g \bar{d} \left[\frac{h_k}{\bar{d}}\right]^{\frac{1}{6}}}} - h_k \quad (22)$$

式中:  $h$ ——冲刷坑最大深度(m);

$q$ ——溃口最大单宽流量( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ );

$a$ ——下泄水流流速分布的动量修正系数,采用  $a=1.10$ ;

$G_1$ ——冲刷坑范围内泥沙的比重,取  $G_1=2.7$ ;

$G$ ——溃泄水体的比重,若含沙量不大时,取  $G=1.0$ ;

$\bar{d}$ ——被冲刷地区土壤的平均粒径,若为黏性土,可采用其换算当量粒径,见表 10;

$h_k$ ——冲刷坑地面以上的水流深度(m)。

表 10 黏性土壤抗冲刷能力换算当量直径(m)

土壤特性	黏性土壤的当量直径		
	黏土及重黏土壤	轻黏土壤	黄土及森林土
密实度小的土壤(换算的孔隙度 0.9~1.2),土壤骨架的容重在 1.2t/m <sup>3</sup> 以下	0.01	0.005	0.005
中等密实土壤(换算的孔隙度 0.6~0.9),土壤骨架的容重在 1.2t/m <sup>3</sup> ~1.6t/m <sup>3</sup> 以下	0.04	0.02	0.02
密实土壤(换算的孔隙度 0.3~0.6),土壤骨架的容重在 1.6t/m <sup>3</sup> ~2.0t/m <sup>3</sup> 以下	0.08	0.08	0.03
极密实的土壤(换算的孔隙度 0.2~0.3),土壤骨架的容重在 2.0t/m <sup>3</sup> ~2.15t/m <sup>3</sup> 以下	0.10	0.10	0.06

3 由于溃堤洪水下泄冲刷坑对线路塔基的安全威胁很大,因此在工程设计中需慎重对待。对计算成果要结合工程实际情况,通过现场实地调查、搜集资料等进行验证。

20.4.4 溃坝流量计算方法的选择,主要取决于水库大坝的溃决



方式,因此在进行水库溃坝洪水计算之前,应在充分调查研究的基础上合理确定溃决方式,如全溃、局部溃、瞬时溃、逐渐溃等,采用哪种溃决方式计算,涉及坝体质量、结构性能、基础条件等因素,应会同有关专业人员拟定。

目前溃坝流量计算方法很多,常用的主要计算方法如下:

1 坝址断面溃坝最大流量计算。根据水库溃决条件可采用下列公式计算,经分析比较后,确定采用值。

1)理论公式。

a)理论公式之一——圣维南公式:

坝体瞬间局部全溃时,按下式计算:

$$Q_g = \frac{8}{27} \left( \frac{B_g}{b_g} \right)^{\frac{1}{4}} b_g \sqrt{g} \times H^{\frac{3}{2}} \quad (23)$$

式中:  $Q_g$ ——坝址断面溃坝最大流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$B_g$ ——坝长或坝址断面附近库区宽度(m);

$b_g$ ——坝体溃决口门平均宽度(m);

$H$ ——溃坝时上、下游水位差(m)。

坝体瞬间全溃时,按下式计算:

$$Q_g = \frac{8}{27} B_g \sqrt{g} \times H^{\frac{3}{2}} \quad (24)$$

b)理论公式之二,适用于坝体全溃或横向局部溃决( $b_g < B_g$ ),计算公式如下:

$$Q_g = K_0 \sqrt{g} b_g \times h_s^{\frac{3}{2}} \quad (25)$$

式中:  $h_s$ ——溃坝时坝体上游水深(m);对未溃水库验算时,可采用坝高值;

$K_0$ ——系数,见表 11;

$b_g$ ——坝体溃决口门平均宽度(m);对一般土坝和堆石坝:

当水库库容大于  $10^6 \text{m}^3$  时,按  $b_g = K_1 \times K_2$

$[W^{\frac{1}{4}} \times B_g^{\frac{1}{2}} \times H_g^{\frac{1}{2}}]$  计算;当水库库容小于  $10^6 \text{m}^3$  时,

按  $b_g = K_1 \times K_3 (W \times H_g)^{\frac{1}{4}}$  计算;如计算得的  $b_g$  值大

于坝长  $B_g$  时,则按  $b_g = B_g$  计算;混凝土重力坝溃坝口门宽等于坝长;

$K_1$ ——安全系数,取  $K_1 = 1.1 \sim 1.3$ ,按线路等级及坝体质量选定;

$K_2$ ——坝体建材系数,对黏土类、黏土心墙或斜墙和土、石、混凝土  $K_2 = 1.2$ ;对均质壤土  $K_2 = 2.0$ ;

$K_3$ ——材质系数,质量好的用 6.6;质量差的用 9.1;

$W$ ——水库库容( $10^4 \text{ m}^3$ );

$H_g$ ——坝高(m);

其余符号意义同前。

表 11  $K_0$  值

$\frac{B_g}{b_g}$	$\frac{b_g}{B_g}$	$K_0$	$\frac{B_g}{b_g}$	$\frac{b_g}{B_g}$	$K_0$	$\frac{B_g}{b_g}$	$\frac{b_g}{B_g}$	$K_0$
1	1.000	0.2963	10	0.100	0.5206	19	0.053	0.5660
2	0.500	0.3687	11	0.091	0.5266	20	0.050	0.5692
3	0.333	0.4101	12	0.082	0.5331	21	0.048	0.5726
4	0.250	0.4382	13	0.077	0.5410	22	0.045	0.5750
5	0.200	0.4603	14	0.071	0.5445	24	0.042	0.5810
6	0.167	0.4759	15	0.067	0.5498	26	0.038	0.5874
7	0.143	0.4895	16	0.063	0.5541	28	0.036	0.5924
8	0.125	0.5008	17	0.059	0.5584	30	0.033	0.5960
9	0.111	0.5101	18	0.056	0.5625	—	—	—

## 2) 经验公式。

a) 经验公式之一。适用于坝体全溃( $b_g = B_g, h'_b = 0$ )、横向局部溃决( $b_g < B_g, h'_b = 0$ )、竖向局部溃决( $b_g = B_g, h'_b > 0$ )、横、竖向都局部溃决( $b_g < B_g, h'_b > 0$ )等各种情况,计算公式如下:

$$Q_s = 0.27 \sqrt{g} \left( \frac{L_k}{B_g} \right)^{\frac{1}{10}} \times \left( \frac{B_g}{b_g} \right)^{\frac{1}{3}} b_g (h_s - K'_0 h'_0)^{\frac{3}{2}} \quad (26)$$

式中:  $L_k$ ——水库库区区长(m);可采用坝址断面至库区上游端部

淹没宽度突然缩小处的距离,或近似地按  $L_k =$

$\frac{W}{h_s \times B_g}$  计算;当  $\frac{L_k}{B_g} > 5$  时,则按  $\frac{L_k}{B_g} = 5$  计算;

$h'_b$ ——溃坝后坝体残留高度(m);由于坝体系分层建筑;当某一高程以下坝体质量良好,该高程以上质量较差并有可能沿该高程溃决时,则取质量良好部分之高度为  $h'_b$ ;当无法确切估算时,可假定  $h'_b = 0$ ,以策安全;

$K'_0$ ——修正系数,可按  $K'_0 = 1.4 \left( \frac{b_g \times h'_b}{B_g \times h_s} \right)^{\frac{1}{3}}$  式计算;当

$\left( \frac{b_g \times h'_b}{B_g \times h_s} \right) > 0.3$  时,则按  $K'_0 = 0.92$  计算;

其余符号意义同前。

b) 经验公式之二。原辽宁省水利局推荐的堰流与波流相交法简化公式:

当坝体瞬时全溃时,按下式计算:

$$Q_g = 0.91 B_g h_s^{\frac{3}{2}} \quad (27)$$

当坝体部分溃决时,按下式计算:

$$Q_g = 0.91 \left( \frac{B_g}{b_g} \right)^{\frac{1}{4}} b_g h_s^{\frac{3}{2}} \quad (28)$$

式中:  $b_g$ ——坝体溃决口门平均宽度(m);对于小型水库可取  $b_g = B_g$ ;中型水库  $b_g$  可取 0.6 倍~0.7 倍  $B_g$ ;大型水库  $b_g$  可取下游附近河道洪水主河槽宽度的 1.5 倍;

其余符号意义同前。

2 溃坝最大流量向下游演进计算。跨越点距下游较远时溃坝最大流量可按式计算:

$$Q'_g = \frac{W_c}{\frac{W_c}{Q_g} + \frac{L_{0M}}{\bar{U} \times K''_0}} \quad (29)$$

式中:  $Q'_g$ ——跨越点断面溃坝最大流量( $m^3/s$ );

$L_{0M}$ ——坝址至跨越点间距离(m);

$\bar{U}$ ——断面平均流速(m/s);在有资料地区,可采用实测最大值;无资料地区,山区可用 3.0m/s~5.0m/s,半山区可用 2.0m/s~3.0m/s,平原可用 1.0m/s~2.0m/s;

$W_c$ ——水库溃坝后下泄的水量体积( $m^3$ );如无资料时可按

$$W_c = \frac{B_g(h_s - h'_b)L_k}{4} \text{ 式估算;}$$

$K''_0$ ——经验系数,山区可采用 1.1~1.5,半山区可采用 1.0,平原可采用 0.8~0.9;

其余符号意义同前。

3 溃坝洪水与区间洪水组合,可根据设计与资料情况采用近似组合方法,即当区间洪水相对较大时,将上游水库的溃坝洪水与区间洪水进行洪水演进计算到跨越地点后按时序叠加。

## 20.5 冰情洪水

20.5.1 当工程所在地区冰情资料短缺时,有关各项特征值可移用邻近测站的资料或类比分析,采用地区经验公式结合实地调查确定。对冰情特征值、移用条件、公式中的系数等采用多方面进行地区协调合理性分析。

在南北向河流解冻期间,如气温升高很快或上游来水突然增加,可使河冰突然破裂,迅速解冻,由于上游先解冻,形成“武开”河流解冻,此种“武开”解冻,对线路塔位威胁很大;如分段解冻,冰凌畅流而下,形成“文开”解冻。当河流封冻冰层下有足够数量的冰花时,河道被冰花和细碎冰阻塞,称冰塞。在一定条件下,可形成长距离的冰塞段,使上游水位壅高,往往会发生排泄不畅的狭窄段、陡弯和浅滩等处。

一般可根据本河段的实际冰塞资料,确定稳定流速与流量,平均水深或流量与水面宽的经验关系结合调查推算;当缺乏实际冰

量资料时,也可建立气温和流量与冰塞壅水位的关系后结合现场调查推求。

**20.5.2** 河流解冻过程流冰有时在河段堆积卡塞,形成冰坝,这种情况多发生在自南向北的河段上,冰坝形成后,上游水位猛烈壅升,使冰坝溃决,河水迅速下泄,流冰多而密集,对塔位的威胁很大。

冰坝壅水高度估算应在实地调查的基础上,分析冰坝的成因和形成的条件,通过类比分析法估算。

## 20.6 特殊地区洪水

**20.6.1、20.6.2** 泥石流发生的地区性特点很强,因而在大多数情况下,应通过实地调查来获得资料。一般泥石流设计流量的估算,至少采用两种方法,便于互相校核。

导线净空高度确定特别要注意逐年泥石流淤积高度。

**20.6.3** 岩溶地区的洪水成因和产汇流条件有其特殊性。从线路塔位设计洪水分析,伏流暗河区具有明显控泄、滞洪作用。岩溶发育地区,地表水系不完整。当伏流暗河区面积占设计断面以上地表集水面积10%~40%以上时,如不考虑岩溶影响,有的设计洪水成果可超过10%,且集水面积愈小,其影响愈显著。

用流量资料计算设计洪水时应了解伏流暗河区无压、有压出流特征和不同量级洪水的滞洪时间长短,峰现滞时和入流、出流差异及其对设计断面洪峰组成的影响;分析设计条件下伏流暗河区岩溶洼地、岩溶盆地等蓄满漫溢对设计洪峰的影响;伏流暗河区的滞洪作用,对瞬时最大出流量影响较大;出流量与相应入流量的差值,有随洪水量级增大而增大的趋势。当伏流暗河区面积较大且汇流条件与明流区差异较大时,有的省、区采用分区计算方法。

溶洞前积水地区的积水位可按水量平衡方程式通过入流出流调蓄计算,推求设计洪水时的最高积水位。

## 20.7 设计洪水位

### 20.7.2 塔位处设计洪水位确定需注意:

1 当利用塔位上、下游测站计算设计水位推算时,只有在测站与塔位处流域面积相差不超过 3% 时,方可采用。

2 当利用塔位处水位流量关系推求时,应结合上、下游的历史洪水调查和调查河段洪水比降图资料进行分析修正。

3 按水面线推求设计洪水位时,一般只适用于大中河流、平原河流或者水面比降变化平缓的河段。

4 水行政主管部门颁布的流域防洪规划具有法定效力,已经建成或正在建设的水利水电工程设计成果经过审批,可视具体情况和水文条件经分析后采用,并尽量与审批的规划设计成果相协调。

## 20.8 设计流速

20.8.1 对于水中立塔的塔位,其设计流速可用设计水位下垂线平均流速。在确定用于杆塔基础局部冲刷计算的设计流速即行进流速时,不能直接由曼宁公式计算,应根据塔位处河段特性,考虑单宽流量的重新分配后,以单宽流量确定塔位处垂线平均流速。

20.8.2 在河流上立塔,无资料情况下应采用多种方法互相印证核对,尤其需注意地形、植被、土壤、水位、流向及滩地冲淤变化等滩地特性,河流主泓摆动范围,结合河段实际情况分析确定。

20.8.3 洪水期漂浮物水面最大流速计算,采用设计洪水位或历史最高洪水位相应的水面最大流速。有资料时,按实测资料分析确定。无资料时,可利用断面平均流速和漂浮物水面最大流速的经验关系比值推求。

$$V_{\max} = \frac{V_{av}}{K} \quad (30)$$

$$K = \frac{C}{C+14} \quad (31)$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (32)$$

式中:  $V_{\max}$ ——漂浮物水面最大流速(m/s);

$V_{av}$ ——断面平均流速(m/s);

$K$ ——系数,可以从实际资料中求得,无实测资料时,可采用式(31)计算;

$C$ ——流速系数

$n$ ——糙率;

$R$ ——水力半径(m)。

## 20.9 滨海、河口水文分析计算

### 20.9.1 潮位计算。

1 本款规定了潮汐类型与特征潮位统计的要求,包括:

1)对输电线路塔附近潮汐类型的分析,可用工程地点或附近海区一个太阴月内逐时潮位过程的形态特征判别,如判别有困难,可将该资料及测站地理坐标进行潮汐调合分析,得出潮汐形态系数  $K$  的计算式:

$$K = \frac{H_{K1} - H_{O1}}{H_{m2}} \quad (33)$$

式中:  $H_{K1}$ 、 $H_{O1}$ 、 $H_{m2}$ ——太阴太阳赤纬日分潮位、主太阴日分潮位及主太阴半日分潮位。

判别潮汐类型按以下标准:

当  $0 < K \leq 0.5$  时为规则半日潮;

当  $0.5 < K \leq 2$  时为不规则半日潮;

当  $2.0 < K \leq 4.0$  时为不规则日潮;

当  $4.0 < K$  时为规则日潮。

在感潮河口段,水位受到上游径流和外海潮汐的共同影响。一般情况下,潮汐的影响由河口向上游逐渐减少,而径流的影响则逐渐加强,于某一河段这两种影响趋于相当。

由于河流的径流有明显的年周期变化,且变化幅度较大,这就对感潮河段的水位造成了年周期变化的影响。这一影响的大小可以使用月平均水位或半潮面的年变幅来反映。年变幅的大小说明了径流对水位的影响程度。

潮汐对感潮河段水位的影响,主要通过潮差表现出来。潮差越大,说明潮汐对水位的影响越显著。年平均潮差反映了潮汐对水位的影响程度。

如果多年月平均水位的年变幅大于或等于多年年平均潮差时,说明该河段的水位主要是受径流控制,反之,说明该河段的水位主要是由潮汐控制。

如输电线路塔附近海区无验潮站时,可搜集水利、交通等部门短期测验与分析成果。

2)滨海工程常遇到的基面有平均海平面、理论深度基面、潮高基面与工程所用基准面等。对它们间的关系应考证清楚,列出其间关系,并将潮位换算为工程所用的基面。

2 本款规定了设计潮位的分析与计算要求,其内容包括:

1)对潮位资料系列的可靠性、代表性与一致性审查与合理性分析,一般应着重以下内容:了解资料的测验方法、缺测数据插补方法与精度,以及整编成果的评价;历年水准基面是否一致,水准基面改正情况;对特高潮位应了解发生日期、台风情况等,发生日期采用夏历。有条件时可从邻近各站资料是否协调等作区域性合理检查。河口区可根据发生日期,上游来水情况、附近雨量及风的资料作上下游潮位变化的合理性检查;挡潮建筑物等对河口区历年潮位一致性影响。

2)对最高潮位频率分析所需资料系列长度,交通部门对我国沿海 50 年以上验潮资料的诸港口分别采用 15 年、20 年、30 年的资料进行计算,并与按全系列资料计算结果对比,30 年资料计算的结果与全系列的结果很接近。重现期 50 年一遇的高潮位相差一般为 10cm 左右;用 20 年资料计算结果对比,相差一般在 20cm



范围内,但用 15 年的资料计算结果对比,相差可达 30cm 以上。天文潮与气象因子变化周期大致是 20 年,频率统计方法本身要求系列长度最少也应有连续 20 年以上,所以本条文中规定一般要求有连续 20 年以上潮位系列。

规定中还要求加入历史上出现的调查资料,是为提高系列的代表性。

关于潮位频率计算的线型问题,宜采用极值 I 型分布和皮尔逊 III 型分布计算。水位主要由潮汐控制的,极值 I 型分布统计有合理的方面,应以其成果为主。水位主要由径流控制的,以皮尔逊 III 型分布较为可靠,应以其统计成果为主。

3) 据港工设计部门分析,我国沿海两站潮位相关关系:日潮型与半日潮型之间关系不好;潮差相差太大时关系不好;不受河川影响与受河影响的测站间关系不好;而同属半日潮的测站间关系较好;同一河系一般关系较好等特点。

极值同步差比法的计算公式如下:

$$H_{SY} = A_{NY} + \frac{R_Y}{R_X} (H_{SX} - A_{NX}) \quad (34)$$

式中:  $H_{sx}$ 、 $H_{sy}$ ——分别为原有验潮站和输电线路处的设计潮位(m);

$R_x$ 、 $R_y$ ——分别为原有验潮站和输电线路处的同期各年年最高潮位的平均值与平均海平面的差值(m);

$A_{NX}$ 、 $A_{NY}$ ——分别为原有验潮站和输电线路处的年平均海平面(m)。

4) 不具备用“相关分析法”和“极值同步差比法”计算条件的一般是资料年限短或者是地理位置相近但局部地形差异较大,如海湾内外,风暴潮增减水影响差异有时较大。

当工程较重要或风暴潮影响严重地区时,应对设计潮位的计算进行专题研究。专题研究一般指采用多种手段和方法计算综合

确定设计潮位。通过建立潮波模型、风暴潮模型计算,复演特大风暴潮过程,由参证站的资料进行验证后,得出输电线路处的高潮极值,参与潮位频率计算,在某些工程中使用,效果较好。

在工程设计的前期,工程重要性一般或风暴潮影响不很严重地区,资料缺乏、或无资料地区可以进行经验推算。常用的有借用与参证站进行日高潮相关关系推算设计潮位,采用短期极值差比法计算高潮累积频率 10% 或历时累积频率 1% 潮位,参照本海区附近参证站或港口设计高潮位与高潮累积频率 10% 或历时累积频率 1% 潮位的差值,近似推算输电线路处的设计潮位。当输电线路处无资料时,高潮累积频率 10% 或历时累积频率 1% 潮位的估算可以根据海图、国家海洋局发布的潮汐表、差比数和潮信表等由平均大潮升等资料推算。

当跨越处附近无实测潮位资料时,建立潮位专用站积累资料是很重要的手段。

## 20.9.2 波浪要素分析与计算。

1 本款规定了实测波浪资料系列审定的要求:

1) 测波站实测波浪要素,代表着该站水域特定的地形、水深、风况等自然地理与水文气象环境所形成的波浪,而工程点的地形、水深等与测波站可能存在许多差异,且差异程度往往随方向不同而不同。所以,在使用测波站实测资料时,应分方向从地形、水深等方面检验其适用程度。

在地形不很复杂、两地风浪成因基本接近,同一水深处的波浪可看作基本一致。此时可将附近测波站的某一水深的波浪要素直接移用至工程地点附近同一水深处,再根据波浪传播变形计算,得出工程点所在水深处的波浪要素。

当因测波站与工程点地形条件相差显著而不能直接移用时,宜先将测波站波要素向深水区推算,得出深水区的波浪要素,直接移至工程点附近的深水区,再按地形条件进行传播变形计算,得出工程点所在水深处的波浪要素。

2)对波浪要素系列一致性与可靠性审查,主要包括考核测验方法、精度与波列累积频率的统计标准是否一致等。

按有关海滨水文观测规范的规定,波浪观测为每日8时、11时、14时及17时共4次定时观测,无夜间的数据。在台风等恶劣天气情况下,可能造成缺测。因此要根据风与波浪的增长与衰减情况来判断有无遗漏最大波浪,若有缺测,可根据调查或天气图进行计算,以补充观测数据。

对测波站所用仪器的类型、观测方法及测波浮筒位置等前后是否一致,应进行检查和考证,对可疑资料要进行核查。例如,观测方法的改变使有的年份测得的波高值接近有效波高,而另一些年份则接近十分之一大波平均值。如不予区别并加以修正,所得最大值系列就不能满足一致性要求。作频率计算的波列必须为同一累积频率。

2 在作波浪要素计算前,应进行跨越水域波浪特性的分析,以选用恰当的计算方法。本条所指波浪特性,主要指由风而产生的风浪、涌浪及混合浪的最大波高、周期等特征值。

3 本款规定了设计波高计算方法。

1)据交通部门对青岛小麦岛站1955年~1972年测波资料分组计算,用10年与用18年样本计算,其设计波高差值可达40%。可见系列过短的波浪资料的代表性太差,不能使用。条文中将波浪连续观测系列长度由15年增长为20年以上,已考虑了目前沿海台站的实际情况。从概率统计角度考虑,20年的样本还太短,参数误差较大,应结合历史最大波高的调查成果进行分析,以提高系列的代表性。

关于波浪要素的长期分布线型问题,常见的有皮尔逊Ⅲ型、极值Ⅰ型分布等10多种分布型式,各种分布均有其特点和应用条件。我国交通部门对沿海13个港口或台站不同方向的波浪资料进行分析与比较,结果建议采用皮尔逊Ⅲ型;水利部门在滨海工程波浪计算中也多使用皮尔逊Ⅲ型;《电力工程水文技术规程》

DL/T 5084 中也规定使用皮尔逊Ⅲ型。因此本条也规定使用皮尔逊Ⅲ型。但根据资料与线型的最优拟合的原则,有条件时也可使用其他线型。

2)当观测资料系列较短,不宜直接进行频率分析时,采用相关分析法以邻近气象台风速资料或以邻近水域参证站的波浪资料延长工程附近水域波浪系列,或用经验频率分析法计算设计波高。

以风速资料延长波高系列时,可分方向建立月或日最大波高与相应风速关系。当以与参证站的波高相关关系延长工程附近水域波高系列时,根据两处自然地理特征、波浪特性等差异情况,可建立分方向的波高关系或不分方向的波高关系。选择何种波高作相关变量,对相关关系的密切程度影响很大,常视两站距离远近与资料情况而定。一般有用同步资料相关、延时资料相关、日极值相关与过程极值相关等。在资料掌握不多的情况下,也可用年或月的特征值进行相关。在选择样本时,尚应尽量选择风向和风速稳定、波浪要素尺度较大的资料,以减小计算误差及随机抽样误差。

当有一年以上连续测波资料时,可采用全部观测次数的某一累积频率的波高或采用日最大值,进行经验频率的直线外延。主要有三种方法:第一种是将波高以均匀坐标为纵坐标,大于或等于某波高的经验频率  $P$  以对数坐标为横坐标时,频率曲线可近似直线外延;第二种是经验频率  $P$  用正态机率坐标,波高  $H$  采用对数坐标;第三种为  $1/P$  采用二次对数坐标,波高  $H$  采用对数坐标。第一种方法所得结果较好,且国内工程曾经用过,国外也用得较多,我国《海港水文规范》JTJ 213—98 推荐采用该法。

3)当工程点附近无实测波浪资料时,一般根据输电线路处海湾、河口地形、水深与风速资料,确定设计波浪要素。计算的方法很多,对推算河口或海湾内的波浪,原则上使用浅水风浪要素的推算法。据浅水风浪成长公式制定的计算图解法已被《海港水文规范》JTJ 213—98 采用。图解计算过程可参照《海港水文规范》JTJ 213—98 执行。

计算风浪要素的经验公式种类繁多,具有代表性的有美国SMB法、前苏联规范法以及莆田试验站法等。其中莆田试验站法依据我国实测资料,经统计、分析而得,又经长江口石洞口、外高桥、杭州湾、宿鸭湖水库、官厅水库、鹤地水库等站的实测波浪资料验证,认为较适合于我国河口、海湾、水库和湖泊等地区,且相对误差最小。在沿江、沿海公路堤防设计中已得到广泛应用,近年来普遍被国家和行业标准引用,如《堤防工程设计规范》GB 50286、《蓄滞洪区建筑工程技术规范》GB 50181、《内河航道水文规范》JTJ 214、《碾压式土石坝设计规范》SDJ 218 和《平原地区水闸设计规范》SD 133 等,本规范推荐莆田试验站计算风浪要素。

4) 对于间接推算波浪要素的方法,大多是根据某种理论推导或据某些海区测验资料综合出来的,属于经验或半理论半经验。由于风浪现象的复杂性,立论时常需作一些假设与简化处理,且因限于资料测取范围和现场条件,其精度受到一定限制。由于各水域近岸风浪情况不同,有的方法不一定适用,所以由各法推算的结果,应与调查资料分析比较,并应尽量作短期波浪观测,以兹校验。

4 本条给出的波周期计算方法均有各自的适用条件,应据输电线路水域波浪特性、资料掌握情况等合理选用。

对于设计波周期的取值,应该与设计波高的确定方法联系起来考虑,不同累积频率波高相对应的周期是不同的。《海港水文规范》JTJ 213—98 中的图解法中波周期由平均波周期改用有效波周期。据《海港水文规范》JTJ 213—98,有效波周期约为平均波周期的 1.15 倍。

5 波长计算方式是经典流体力学规则波公式和由波谱理论得不规则波公式。由于波压力计算中多使用规则波公式,《海港水文规范》JTJ 213—98 也规定使用此式,并据此绘制了查算表,故输电线路工程波长也推荐用规则波公式计算。

6 根据对大量自记海浪资料的统计分析,前苏联格鲁霍夫斯基得出了以累积频率波高表示的浅水波高统计分布关系,该关系

至深水时,即成为通常所用的瑞利分布关系。可利用《海港水文规范》JTJ 213—98 中绘制成的计算图解进行分析。

7 当波浪由深水区传播进入浅水区时,因受到水深、地形、地物以及底坡摩擦等的影响,发生折射、绕射及破碎变形,从而导致波高、波长和波向等要素发生变化,统称为波浪传播变形,应对此进行分析计算。浅水区即  $d$  小于  $L/2$ 。地物如岛屿和水上建筑物等。

8 鉴于自然界波浪现象的异常复杂,为便于推广应用,常规的设计波要素计算方法往往基于尽量近似或简化的理论、尽可能少的参数提出。经验公式法和《海港水文规范》JTJ 213—98 中的图解法多适用于相对稳定的风区,而对于风区本身具有较大的移动速度时则并不适用;又如地形地物比较复杂的水域,波浪的折射、绕射、反射及破碎变形均显著存在且可能相互影响。对异常复杂的水域设计波浪,常规方法可能带来可观的误差,故要求进一步采用模型试验分析论证。波浪模型试验按《波浪模型试验规程》JTJ/T 234—2001 要求执行。

9 输电线路处及其附近水域无实测波浪资料时,大范围计算可采用数学模型对近岸波浪数值进行预报,用于模拟近岸波浪传播过程;多向不规则波的传播,地形和海流的空间变化导致的波浪折射,地形和海流空间变化导致的浅水变形,逆向流造成的障碍和反射,障碍物的阻挡和部分传播。

### 20.9.3 海流计算。

1 海流一般分为潮流和非潮流。潮流是由日、月等天体引力作用而产生的水体周期性的水平运动。非潮流有风海流、波流、梯度流、径流等。风海流是由风和水面摩擦作用所引起,其流向受地球自转偏向力的影响,在北半球偏于风向的右方,在南半球偏于左方。近岸海区潮流和风海流、河口区域的潮流和径流量值较大,对水中立塔的跨越塔基影响较大,应推算跨越塔位处的最大流速。

2 分析跨越塔位处的最大流速所依据的观测资料应在具有

代表性的时间取得。

3 在非潮流较小的海区,可直接采用实测流速。可采用数学模型推算出潮流场,不仅可以内插得出各工程点的流速,还可以避开急流区,优化布置塔位。

4 对于潮流和风海流为主的近岸海区,采用准调和分析法确定椭圆要素,可以推求可能最大流速。

5 由于测流不可能长期连续观测,恶劣条件下测流可能是无法做到的。对于径流为主的河口地区,二维、三维数学模型计算可以较好解决上游来水和潮汐作用下对塔位最不利的流场的取得。

## 21 河(海)床演变分析

### 21.1 一般规定

**21.1.1** 线路跨越河流、海域的河(海)床演变分析涉及塔基安全,应作为线路勘测中的重点。人类活动对河(海)床影响很大,应给以充分重视。河(海)床稳定性判定和塔基处最大冲刷深度计算应考虑未来30年~50年为预测年限,主要考虑到330kV~750kV线路工程使用寿命一般为30年~50年。预测年限一般有条件时应考虑上限50年,至少应满足下限30年。

### 21.2 河床演变分析

**21.2.1** 河床演变对塔基安全影响较大时,应采用多种方法进行分析计算。其中对设计河段进行野外踏勘与调查,结合河流动力地貌特性分析判断是最基本的手段。有条件时应考虑采用航卫片资料帮助进行分析判断。

**21.2.3** 滩地上立塔应排除滩地演变成主槽的可能性。对于游荡性河道尤其应注意分析主槽摆动范围是否可能影响到塔基安全。

**21.2.6** 跨越河段上下游人类活动如兴建水库水闸、河道或航道整治等对塔位处河床演变影响较大,应重点分析。一般兴建水库水闸、河道整治工程都采用数学或物理模型试验分析工程实施后的影响,可在其基础上针对跨越河段进行深入分析;有必要时应专题分析研究。

### 21.3 海床演变分析

**21.3.1** 海岸动力地貌调查资料包括海滩、水下沙堤和海蚀崖等地貌类型的形态、组成物质和结构,近岸带波浪、潮流及余流方向,



泥沙来源和泥沙运移途径等。

搜集资料分析岸线变化除地形图、海图外,有必要时可以搜集海岸航卫片遥感解译资料帮助分析。

**21.3.2** 塔位处于弯曲型河道凹岸时应注意河道崩岸危及塔位安全。

**21.3.6** 考虑到海湾、潮汐河口段立塔造价高,在塔位附近河床冲刷较严重时,或人类活动影响较明显时应进行岸滩稳定性专题研究或在搜集有关海洋水文、岸滩稳定性研究报告基础上分析塔位的岸滩稳定性。

## 22 可行性研究阶段工程气象勘测

### 22.1 一般规定

**22.1.1** 可行性研究阶段气象勘测,主要针对线路区域自然环境特点,提出对各候选路径方案有较大影响的气象条件,为路径方案的经济技术比选提供依据。

**22.1.2** 山区重冰线路,设计冰厚对线路的技术经济指标有显著影响,要求可行性研究阶段的工程设计限额造价在后续设计阶段基本保持稳定。因此,要求存在重冰区的线路,应在可行性研究阶段开展设计冰厚与冰区分布的专项调查。

### 22.2 勘测内容深度与技术要求

**22.2.1** 可行性研究阶段应搜集规划路径区域有关气象资料,对所搜集资料,应视其来源、年代、精度及代表性合理选用。

**22.2.2** 线路工程中有无重冰区的勘测工作量差异很大。因此,线路工程可行性研究气象勘测首先要确认其是否存在重冰区以及重冰区出现的区域,以便确定勘测手段与工作量。

### 22.3 勘测成果

**22.3.1~22.3.3** 可行性研究阶段的气象勘测成果,要着重体现对各路径方案有重大影响的气象条件,明确各路径方案气象条件分析比较结论,提出各路径方案存在的问题与进一步工作的建议。

## 23 初步设计阶段工程气象勘测

### 23.1 一般规定

**23.1.1** 本阶段的工程气象勘测是在可行性研究阶段勘测的基础上,全面、系统搜集路径区域的气象资料,对路径全线进行实地踏勘,通过多种方法分析计算,优化路径设计冰厚与冰区,优化路径设计风速与风区,全面提供线路设计所需的气象资料。

**23.1.2** 本阶段对山区重冰线路应开展覆冰专题分析论证。在可行性研究阶段调查搜集资料、实测覆冰资料基础上,对微地形微气候重冰区开展更深入地现场复查,对冰区进行深入的分析论证。

### 23.2 勘测内容深度与技术要求

**23.2.1、23.2.2** 初步设计阶段需搜集线路推荐方案路径区域的有关气象资料,资料的搜集应全面、系统、准确,为线路设计气象参数的分析统计提供可靠依据。

**23.2.3** 风口、迎风坡、突出山脊或岭地形是重冰易于形成的地方,在这些微地形点,应开展山脉或岭走向及植被分布特点、水汽来源、覆冰气流路径、云雾高度、覆冰风速风向的实地踏勘调查,综合分析、合理确定同一微地形区域不同地段的覆冰分布。

### 23.3 勘测成果

**23.3.1~23.3.3** 初步设计阶段的气象勘测成果报告的编制应视线路工程的气候特点,重点论述对线路设计影响较大的气象项目,兼顾其他项目。

## **24 施工图设计阶段工程气象勘测**

### **24.1 一般规定**

**24.1.1** 施工图设计阶段对初步设计气象资料复核重点是设计冰厚与风速,落实不同量级的冰区和风区分界塔位。

### **24.2 勘测内容深度与技术要求**

**24.2.1** 对山区重冰地段塔位,应逐基踏勘,查明微地形微气候对覆冰的影响作用,提出逐基塔位的设计冰厚与抗冰措施建议。

**24.2.2** 对特殊大风地段的线路,应深入进行现场地形、风况复查,落实特殊大风段的分界塔,提出必要的抗风措施建议。

### **24.3 勘测成果**

**24.3.1~24.3.3** 施工图设计阶段的气象勘测报告的编制应重点论述沿线设计冰厚与大风的复查情况及其成果。

## 25 气象调查

### 25.1 一般规定

**25.1.1** 气象调查是对气象站资料的补充和完善,特别是线路距气象站较远,地形情况又与站址不一致时尤为重要。为使调查资料真实可靠,要求当场记录,有条件的可进行录音、摄像。冰灾和风灾照片是判定覆冰和风力大小的重要依据,除结合工程拍摄照片外,还要搜集各种冰风灾害照片,用以判定冰风灾害范围与量级,供分析确定设计冰厚和风速使用。

**25.1.2** 对山区和滨海地区,应进行工程点和附近地区面上的气象搜集资料调查;此外还要进行沿线搜集资料调查,做到点、线、面结合。

山区工程要搜集微地形微气候区影响、山坡山麓覆冰与风速变化特征及当地山区覆冰与风速分析计算方法;并与附近山顶、山麓的气象站资料进行分析比较。

滨海地区工程宜对附近海岸、海岛、海湾进行覆冰和大风调查,并搜集附近各种滨海地形的气象站、海洋站资料和当地气象研究成果资料,进行综合分析计算。

据统计,大量冰害事故发生在冰区分界点,因此应重点查勘轻、中、重冰区分界点。

### 25.2 大风调查

**25.2.2** 大风调查要求的范围和调查点数是长期工程实践中积累的经验总结,一般情况下,在沿线附近 3km~5km 范围进行大风调查是可行的,资料也有代表性;对于特殊地区,如风口、海岸可适当增大调查范围,使调查资料更具代表性。

**25.2.4** 大风调查主要是搜集沿线附近的风灾资料,根据灾情定出风力,再换算成相应风速;其次是搜集当地气象、工程建设部门对风速、风压的研究成果和建构筑物的设计风速以及使用运行情况。这些资料可参与设计风速的取值分析。

**25.2.6** 现场汇总整理大风调查和搜集资料内容是防止漏项的有效措施;现场复核中若发现资料不足或存在疑问,及时调查补充。

### **25.3 覆冰调查**

**25.3.1** 我国实测覆冰资料较少,故覆冰调查十分必要。调查可以提供当地覆冰的定性情况和定量资料,并通过沿线地形、气候特征与当地气象资料综合分析,以及与邻近地区的实测覆冰资料进行地形、气候条件的类比分析,估算沿线标准冰厚。输电线路覆冰调查一般在沿线附近村镇居民点、厂矿、高山电视台、微波站等进行,同时还要搜集相关省、市、县的低温、冰凌、降雪等有关资料。调查范围是规划线路的整个覆冰区段。调查点应选择能代表沿线地形特征的地点,如山间盆地、山脊、山腰、垭口等,此外,特别注意布设不同高程的调查点,以了解不同高程的覆冰情况。

**25.3.2** 覆冰搜集资料的重点是搜集覆冰的定量资料,除了搜集气象台站、长途通信线务站和观冰站的实测覆冰资料外,还要注意搜集一些有心人记录的覆冰资料。

**25.3.6** 对特殊地形点,如风口、分水岭、迎风坡等除进行覆冰调查外,还应作实地踏勘,绘制地形草图,辨明冬季主导风向,观察气候、植被情况,简测高程,初步估计该地的寒冷程度和降水量,以及覆冰的大小。实测资料表明,风口等微地形微气候区对覆冰增大的影响显著。根据贵州贵水线、贵六线、水盘线,湖南柘乡线、欧盐线,四川南九线、灌映线、二自线、冷蓉线,重庆三万线的观冰资料,以及黄茅埂观冰站、二郎山观冰站的覆冰资料分析,风口覆冰是风口两侧覆冰的1.5倍~2.5倍。

通常海拔越高,温度越低,风速越大,如果湿度条件适宜,覆冰

就大,据云南一些资料表明,山顶覆冰比山腰覆冰大 1 倍~2 倍。但在一些特定的地形及气候条件下,覆冰并非随海拔增高而增大:如滇东北河谷区和四川西南山区,海拔 3000m 以上,水汽条件较差,云雾滞留时间较短,不易形成大覆冰;而在海拔 2500m~2800m 的山腰地段,为云雾滞留地带,冰凌持续时间长,易形成较大覆冰,俗称“腰凌”。

迎风坡比背风坡覆冰大,根据安徽、云南、四川、贵州几条线路和黄茅埂观冰站的实测资料分析,迎风坡覆冰厚度比背风坡大 1.2 倍~2.2 倍。

**25.3.8** 现场汇总覆冰调查资料,可以检查调查内容是否齐全,能否满足分析计算要求,如发现问题可及时调查补充。

覆冰调查多为定性资料,定量资料也大部分为目测数据,误差较大,因此对覆冰调查资料要进行合理性审查。要通过区域性的低温、冰凌、降雪天气资料审查其发生时间是否一致;通过附近气象站实测资料审查出现大冰凌的可能性;通过冰害情况审查其合理性。

## **25.4 主导风向调查**

**25.4.1** 线路设计要考虑主导风向与线路走向的位置关系,减小污秽影响。矿山、大型工厂、灰窑群区属重点污秽源,对其附近的主导风向调查应详细,调查范围可超过 3km~5km。

## **25.5 专用气象站与观测**

**25.5.1、25.5.2** 本规范所指的建立观冰站和测风站为短期型,其目的是观测工程地在建站期间的覆冰和大风状况,与邻近气象站对比观测的覆冰、大风和气象要素进行分析和相关计算。

若工程需要建立长期的、大型的观冰站和测风站,除了参照执行中国气象局编定的《地面气象观测规范》外,还应根据工程特点、研究目的和内容,结合国内外建站经验,确定适宜的观测方法。

观冰站站址选择首先是要有冰可观,即每年冬季覆冰期均有较大覆冰出现,覆冰极值及覆冰过程出现几率较多;其次是站址代表性好,对覆冰天气成因及线路重冰区地形条件有代表性;第三是观冰站附近要具有基本的交通及生活条件,能坚持覆冰观测。

简易观冰站应选在输电线路路径典型地形处,从国内已建的观冰站看,大多设在山顶和垭口,如四川的白龙山、鲁南山、黄茅埂、蓑衣岭垭口、娘子岭垭口观冰站,云南的太华山、大山包、海子头观冰站,江西的梅岭,陕西的秦岭观冰站,贵州的八担山垭口观冰站等均设在山顶或垭口。有条件的地方还可在一个山岭的两侧分设几个观冰点,进行不同海拔与不同地形的对比观测。

测风站应选择在风口和沿线代表地形段。有条件的可在不同地形与不同高度处建站观测。



## 26 气象分析计算

**26.0.1** 对气象站实测大风资料和观冰站实测覆冰资料审查侧重点为:

**1** 风速可靠性审查:应了解气象站使用风仪的沿革,如风仪型号、安装高度、使用情况、风仪精度及故障情况。对异常偏大值可通过地区比审、天气系统过程分析、气象要素相关分析、大风调查等途径查找原因,进行适当的订正处理。

**2** 风速一致性审查:当发现风速系列不连续,表现为分段的系统性偏大或偏小时,可从气象站观测场变化与风仪变更等方面查找原因,对风速系列进行一致性处理。

**3** 覆冰资料的可靠性审查:通常一次覆冰过程是在覆冰消融崩溃前测量覆冰重量和形状,但有时因风大或气温升高引起覆冰脱落,而未测到覆冰过程最大值;有些观冰站会把一次覆冰过程中的几次测量数据加在一起,作为本过程的最大值。在应用覆冰观测资料时,应对其观测方法、精度,以及资料所代表的地形环境作全面考证,合理使用。

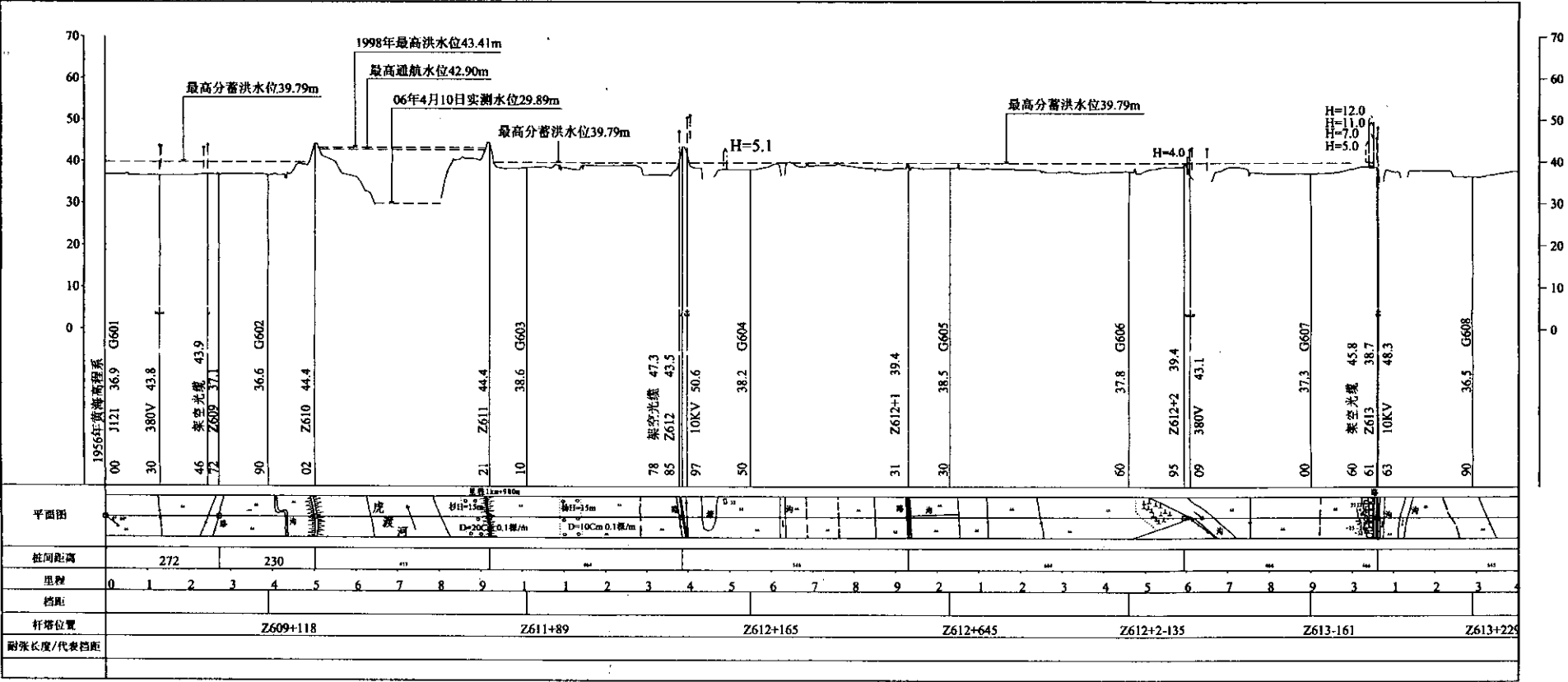


图 F-1 输电线路平断面图(平地区)样图

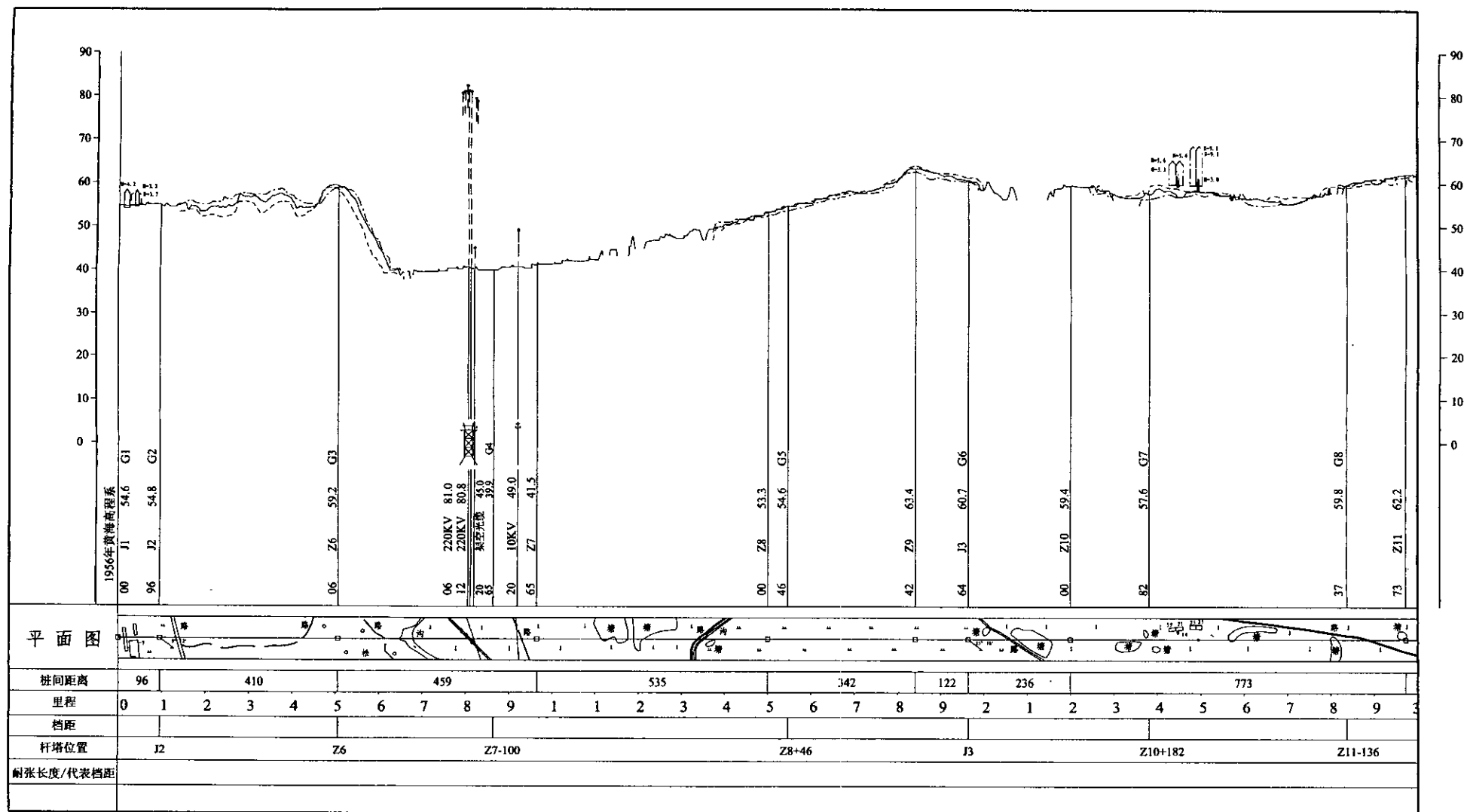


图 F-2 输电线路平断面图(平丘区)样图

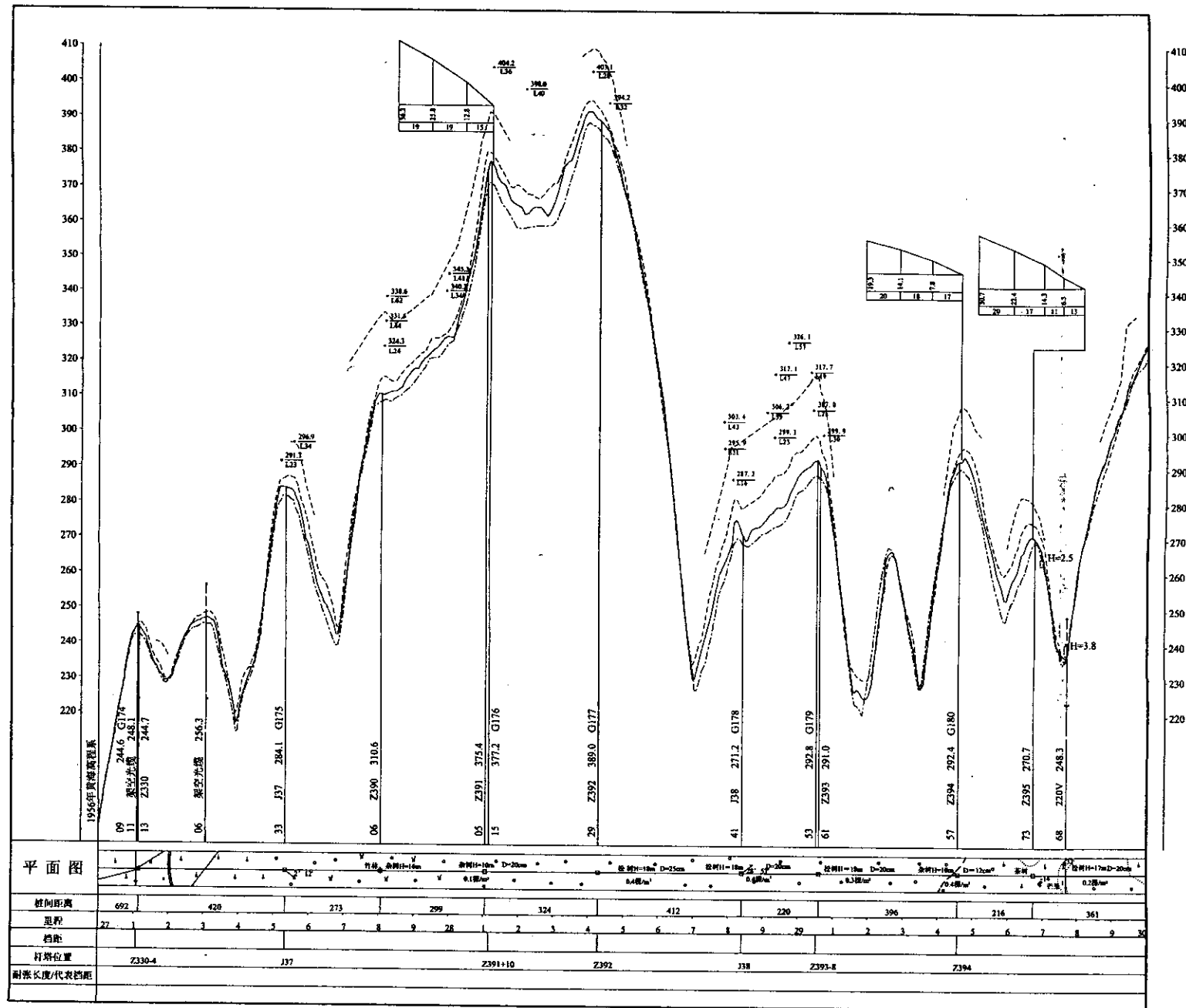


图 F-3 输电线路平断面图(山区)样图

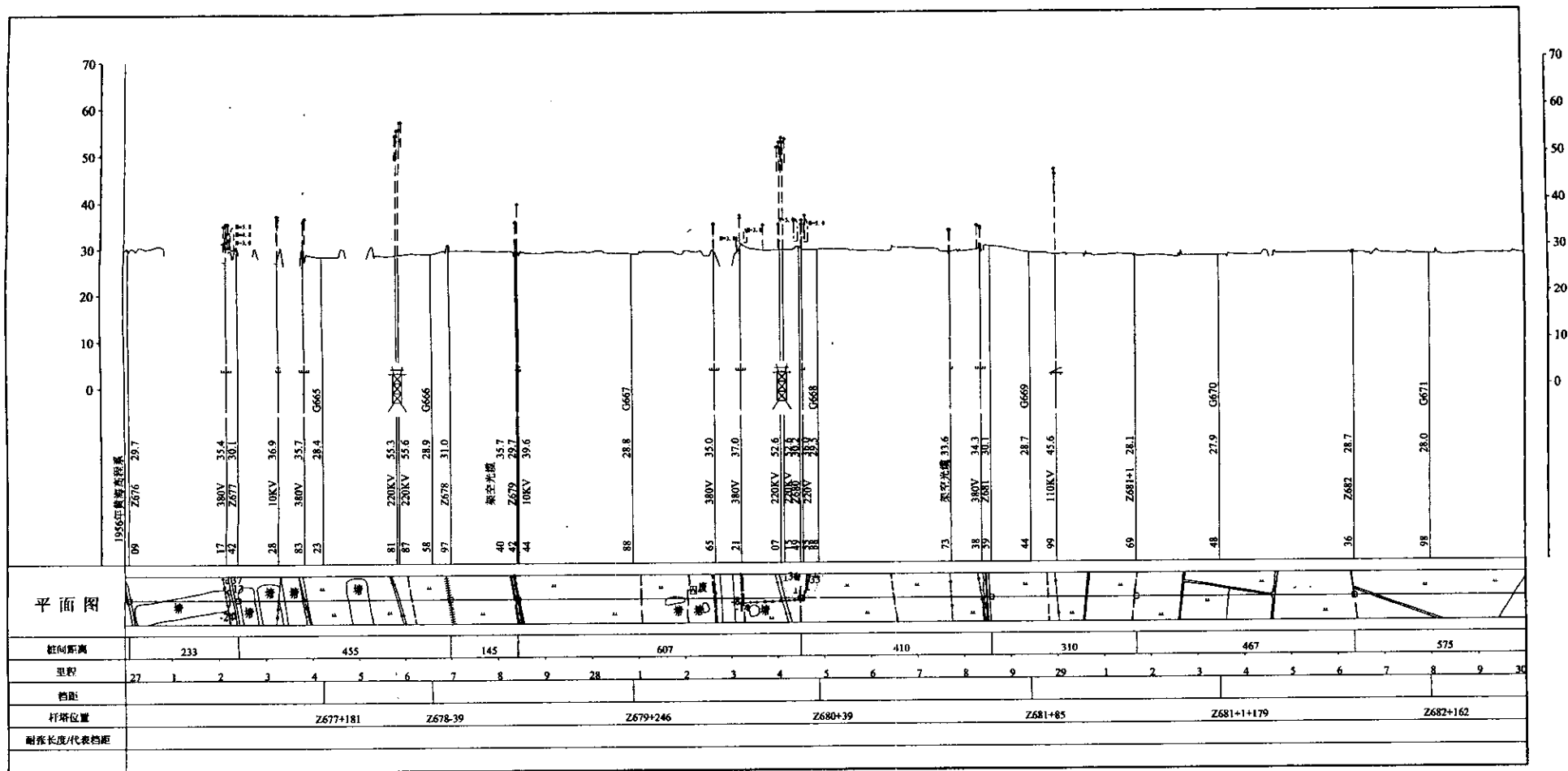


图 F-4 输电线路平断面图(补充交叉跨越图例)样图